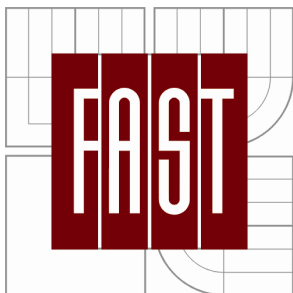




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# ZNOVU-UŽITÍ VYČIŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD V PAPÍRENSKÉM A TEXTILNÍM PRŮMYSLU

REUSE OF TREATED WASTEWATER IN PAPER AND TEXTILE INDUSTRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Jana Matysíková

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc.

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Jana Matysíková
<b>Název</b>	Znovu-užití vyčištěných odpadních vod v papírenském a textilním průmyslu
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2011
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	13. 1. 2012
V Brně dne 31. 3. 2011	

.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

1. Metcalf + Eddy: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGRAW-HILL, New York 1985
2. Parson S.: Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment, IWA Publishing, ISBN: 1843390175
3. Tunay O., Kabdasli I., Arslan-Alaton I.: Chemical Oxidation Applications for Industrial Wastewaters, IWA Publishing, ISBN: 1843393077
4. Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing

## **Zásady pro vypracování**

Práce je řešena v návaznosti na výzkumný projekt AOP4WATER financovaný z programu CORNET. V první části práce bude provedena rešerše literatury a zpracován přehled problematiky. Součástí rešerše bude přehled AOP technologií a zkušeností s jejich provozem. Ve druhé části práce práce zpracován návrh řešení znovuuzití odpadních vod pro vybraný papírenský nebo textilní průmysl. Podklady si diplomant zajistí po dohodě s vedoucím práce v rámci diplomového semináře u fy AQUA PROCON. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací. Vypracovat ve formě technické zprávy podle pokynu vedoucího práce. Diplomová práce bude předána v 1 paré. Texty, výpočty a výkresy budou současně předány na CD.

.....

doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá aplikací pokrokových oxidačních technologií (AOP) pro čištění odpadních vod z textilního průmyslu a následným znovuužitím vyčištěných vod v procesu textilní výroby. AOP jsou moderní technologie, kterým je v současné době věnována zvýšená pozornost z důvodu jejich vysoké účinnosti při odstranění rezistentních a obtížně degradovatelných znečištění. Práce je tvořena rešeršní a praktickou částí. Rešeršní část tvoří tři kapitoly. První kapitola stručně popisuje problematiku znovuužití odpadních vod. Druhá kapitola je věnována pokrokovým oxidačním technologiím s výraznějším zaměřením na technologii ozonizace. Třetí kapitola je úvodem do problematiky textilního průmyslu a textilních odpadních vod. Praktická část práce je tvořena dvěma kapitolami. Kapitola 5 popisuje testování účinku ozonizační technologie na odbarvení textilní odpadní vody z vybraného textilního podniku a stručně uvádí naměřené hodnoty. Tyto výsledky jsou poté použity v kapitole 6. Kapitola 6 je studie znovuužití odpadních vod ve vybraném textilním průmyslu. Studie obsahuje návrh dvou variant čištění textilních odpadních vod za účelem jejich znovuužití ve výrobě.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with Advanced oxidation processes (AOP) and its application for textile wastewaters treatment and reuse. AOP is a modern technology which currently receives increased attention due to its high efficiency in removing resistant and hardly-degradable pollution. Thesis consists of search and practical part. Search part is created by three chapters. First chapter describes briefly wastewater reuse. The second chapter deals with Advanced oxidation processes. AOP principle, AOP division and description is included with the strong focus on the ozonation technology. The third chapter presents the textile industry and its wastewaters. The practical part of this thesis consists of two chapters. Chapter 5 describes testing of textile wastewaters decoloration by ozonation in the selected textile company and its results. These results are used in chapter 6. Chapter 6 is the study of textile industry treatment and reuse in the selected textile company. This study contains the design of two options for wastewater treatment and reuse in the textile processes.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Čištění odpadních vod, znovuužití odpadních vod, Pokrokové oxidační technologie (AOP), Textilní průmysl, Ozonizace, Čištění textilních odpadních vod.

## **KEYWORDS**

Wastewater treatment, water reuse, Advanced oxidation processes (AOP), Textile industry, Ozonation, Textile industry wastewater treatment.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MATYSÍKOVÁ, J. *Znovu-užití vyčištěných odpadních vod v papírenském a textilním průmyslu : diplomová práce*. Brno, 2011. 150 s. , 76 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

podpis diplomanta

## PODĚKOVÁNÍ

Zde bych ráda poděkovala všem, co mi k diplomové práci poskytli podklady, konzultace a cenné rady. Jsou to především:

Ing. Jiří Beneš, DISA v.o.s. za konzultaci a materiály k technologii ozonizace

Ing. Martin Vlček, Linde Gas za podklady a údaje vztahující se ke kapalnému kyslíku

Ing. Oldřich Šamal, EVH s.r.o. za konzultaci a rady k návrhu průmyslové ČOV

Alois Kubíček za poskytnutí podkladů k řešenému podniku

doc. Ing. Vít Hromádka, Ph.D., USI VUT Brno za konzultaci k ekonomickému vyhodnocení

Ing. Petr Žižka, MEGA a.s. za poskytnutí podkladů k systému reversní osmózy

vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc. za konzultace a rady k práci

## OBSAH

<b>1. Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Znovu-užití vyčištěné vody .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Pokrokrokové oxidační technologie (AOP).....</b>	<b>14</b>
3.1 Představení AOP.....	14
3.2 Princip funkce AOP.....	14
3.3 Rozdělení AOP .....	16
3.4 Přehled AOP technologií řešených v rámci AOP4WATER .....	17
3.5 Ozonizace .....	17
3.5.1 Vlastnosti ozonu.....	17
3.5.2 Mechanismus reakce ozonu .....	18
3.5.3 Prvky systému ozonizace .....	19
3.6 Peroxid vodíku - $H_2O_2$ .....	24
3.6.1 Vlastnosti $H_2O_2$ .....	24
3.7 UV - Fotolýza .....	25
3.7.1 Mechanismus působení UV zařízení.....	26
3.7.2 Prvky systému .....	26
3.8 Působení US -sonolýza .....	28
3.8.1 Reakční mechanismus .....	28
3.8.2 Prvky systému US .....	29
3.9 $US/O_3$ .....	30
3.9.1 Reakční mechanismus .....	30
3.10 $O_3/H_2O_2$ (Peroxon).....	30
3.10.1 Reakční mechanismus .....	31
3.10.2 Prvky systému Peroxon .....	31
3.11 $O_3/UV$ – Fotolýza ozonu.....	33
3.11.1 Mechanismus reakce .....	33
3.11.2 Prvky systému $O_3/UV$ .....	34
3.11.3 Popis systému.....	34
<b>4. Textilní průmysl a produkce znečištění.....</b>	<b>36</b>
4.1 Charakteristika textilního průmyslu z hlediska spotřeby vody .....	36
4.2 Výrobní procesy v textilním průmyslu .....	36
4.2.1 Suché (mechanické) procesy.....	37
4.2.2 Mokrý procesy (zušlechtování) .....	39
4.3 Odpadní vody TP a jejich znečištění .....	43
4.3.1 Produkce odpadů při Zušlechtování .....	44
4.4 Spotřeba vody a její požadovaná kvalita.....	49
4.4.1 Spotřeba vody .....	49
4.4.2 Požadavky na jakost procesní vody .....	49
4.5 Technologie čištění OV z textilního průmyslu .....	51
4.5.1 Cezení, Sedimentace, Vyrovnávání a neutralizace .....	53
4.5.2 Chemická Koagulace/flokulace .....	54
4.5.3 Biologické čištění.....	54
4.5.4 Membránová filtrace .....	55
4.5.5 Adsorpce .....	57
4.5.6 Chemická oxidace .....	57
4.5.7 Elektrochemické procesy .....	57

4.5.8	Iontová výměna.....	57
4.5.9	Termální Evaporace .....	58
4.5.10	Krystalizace .....	58
4.6	Znovuvyužití OV z Textilního průmyslu.....	59
4.7	Zkušenosti s využitím vybraných AOP při čištění OV z TP.....	61
4.7.1	Ozonizace.....	61
4.7.2	UV .....	64
4.7.3	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	64
4.7.4	US .....	65
4.7.5	O <sub>3</sub> /UV .....	66
4.7.6	O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (Peroxon) .....	67
4.7.7	O <sub>3</sub> /US .....	68
<b>5.</b>	<b>Testování ozonizace na reálné OV z textilního podniku X .....</b>	<b>69</b>
5.1	Poloha podniku X .....	69
5.2	Vodní hospodářství podniku X .....	70
5.3	Údaje o kvalitě surové vody .....	70
5.3.1	Parametry vody v toku .....	70
5.3.2	Hodnoty pH a tvrdost vody – tok Březná.....	70
5.4	Odběr a úprava surové vody z toku Březná .....	71
5.5	Textilní procesy v podniku .....	73
5.6	Divize pletenin.....	74
5.6.1	Upravované materiály .....	74
5.6.2	Popis vlastního procesu barvení.....	75
5.6.3	Spotřeba vody a její znečištění.....	75
5.7	Čištění OV z podniku .....	77
5.7.1	Zdroje OV a kapacita ČOV Červená Voda .....	77
5.8	Testování ozonizace.....	78
5.8.1	Umístění ozonizace .....	78
5.8.2	Technologie ozonizace a příslušenství.....	79
5.8.3	Způsob měření .....	81
5.8.4	Dávkování ozonu .....	82
5.8.5	Vlastní měření Ozonizace .....	84
<b>6.</b>	<b>Studie návrhu znovuvyužití čištěných odpadních vod v textilní výrobě.....</b>	<b>91</b>
6.1	Vstupní údaje .....	91
6.1.1	Identifikační údaje stavby .....	91
6.1.2	Podklady .....	91
6.1.3	Poloha území.....	91
6.1.4	Geomorfologie .....	91
6.1.5	Geologická stavba .....	91
6.1.6	Hydrologie .....	92
6.2	Vlastní návrh.....	92
6.2.1	Současný stav a zdůvodnění návrhu .....	92
6.2.2	Průtoky na ČOV .....	93
6.2.3	Koncentrace znečištění na vstupu na ČOV .....	94
6.2.4	Požadavky výroby na kvalitu vody .....	95
6.2.5	Zhodnocení podmínek pro znovuvyužití.....	95
6.3	Studie 1 – klasická koncepce linky .....	97

6.3.1	Odhad účinnosti jednotlivých stupňů linky.....	98
6.3.2	PS 1 Mechanické předčištění .....	99
6.3.3	PS 2 Chemické předčištění .....	100
6.3.4	PS 3 Biologické čištění .....	103
6.3.5	PS 4 Kalové hospodářství .....	106
6.3.6	PS 5 Chemické hospodářství.....	111
6.3.7	PS 6 Otevřené pískové filtry .....	111
6.3.8	PS 7 Ozonizace .....	113
6.3.9	PS 8 Odželezovací filtry .....	114
6.3.10	PS 9 Reversní osmóza .....	114
6.4	Studie 2 – Zařazení AOP před biologický stupeň .....	117
6.4.1	Odhad účinnosti jednotlivých stupňů linky.....	118
6.4.2	PS 1 Mechanické předčištění .....	118
6.4.3	PS 2 – Ozonizace .....	119
6.4.4	PS 3 Biologické čištění .....	122
6.4.5	PS 4 Kalové hospodářství .....	127
6.4.6	PS 5 Chemické hospodářství.....	129
6.4.7	PS 6 Reversní osmóza.....	130
6.5	Ekonomické posouzení variant.....	131
6.5.1	Studie 1 .....	131
6.5.2	Studie 2 .....	132
6.6	Porovnání variant.....	133
6.6.1	Technické řešení .....	133
6.6.2	Ekonomické porovnání .....	135
6.6.3	Porovnání kvality výstupní vody .....	135
6.6.4	Celkové posouzení .....	135
7.	<b>Závěr .....</b>	<b>136</b>
8.	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>139</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>145</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>146</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>147</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>149</b>
	<b>Summary .....</b>	<b>150</b>

## 1. ÚVOD

Diplomová práce je řešena v návaznosti na právě probíhající výzkumný projekt AOP4WATER.

Projekt se zaměřuje na průmyslová odvětví s intenzivní spotřebou vody, produkující významné rezistentní znečištění. Jedná se o papírenský, textilní a potravinářský průmysl. Hlavním předmětem projektu je hledat nové zdroje procesní vody a to prostřednictvím efektivního čištění a znovuužití vody odpadní. Může se jednat o vodu odpadní z vlastní výroby, nebo o odpadní vodu komunální či z jiného průmyslového odvětví. Projekt testuje využití pokrokových oxidačních technologií (AOP) pro čištění OV, které představují potenciál pro jejich znovuožití ve výrobě. Je rozdělen do několika pracovních balíků. Diplomová práce navazuje na právě probíhající pracovní balík 3 zahrnující testování účinku ozonizace a její kombinace s jinými AOP na odpadní vody cílových odvětví, optimalizaci jednotlivých metod a výběr nejeefektivnější metody z hlediska odstranění znečištění a nákladů.

Projekt předpokládá využití AOP před biologickým čištěním, jako stupeň, který povede k rozkladu rezistentních látek za účelem zvýšení biodegradability.

Následující pracovní balík bude mít za úkol testování účinnosti biologických metod čištění po aplikaci AOP na přítoku OV (zvýšení biodegradability) a jejich zefektivnění (využití speciálních mikroorganismů a enzymů, které biodegradaci posílí a urychlí). Navazující pracovní balíky budou řešit sestavení vhodné technologické linky ČOV se zařazením AOP technologie pro docílení vysoké kvality odtoku. Cílem bude rovněž zjistit, do jaké míry je možné čištěné vody využít.

Výše popsany přístup přinese jednak snížení spotřeby vody, jednak snížení množství znečištění vnášeného do životního prostředí.

Protože je diplomová práce řešena v návaznosti na pracovní balík 3 – testování ozonizace a kombinací s jinými AOP, je teoretická část zaměřena převážně na problematiku AOP. Druhá kapitola DP stručně uvádí do problematiky znovuvyužití odpadních vod a zdůrazňuje přínosy. Třetí kapitola DP obsahuje teoretický přehled AOP technologií, popis jejich funkce a detailnější rozbor jednotlivých kombinací testovaných v rámci projektu AOP4WATER. Největší pozornost je přitom věnována technologii ozonizace a to z důvodu navazujícího návrhu systému ozonizace v praktické části (kapitoly 5 a 6).

Pro praktickou část – Návrh znovuvyužití vody ve vybraném průmyslu – byl vybrán textilní průmysl. Další řešení práce je tedy zaměřené výhradně na toto odvětví. (papírenský průmysl z důvodu rozsahu práce není řešen). Textilnímu průmyslu je věnována čtvrtá kapitola. Jedná se o popis technologických procesů, produkovaného znečištění a spotřeby vody. Vzhledem k zadání DP jsou stěžejní kapitoly popisující znečišťující látky a metody čištění OV.

Pátá kapitola uvádí popis testování ozonizace na reálné odpadní vodě ve vybraném textilním podniku. Testování proběhlo v rámci projektu AOP4WATER. Měření jsem se jako výpomoc účastnila. Uvádím zde popis instalovaného ozonizačního systému a

výsledky, které následně využívám ve studii znovuvyužití OV ve výrobě. Kapitola obsahuje pouze jednoduché závěrečné vyhodnocení účinností pro účely návrhu ozonizace v kapitole 6.

Kapitola 6 zahrnuje studii znovuvyužití čištěných textilních odpadních vod ve výrobě. Návrh je proveden pro tentýž textilní podnik, na jehož vodách byla testována ozonizace. Jedná se víceméně o modelové řešení. Stávající ČOV, která zneškodňuje odpadní vody z podniku, není při návrhu uvažována. Studie předkládá dvě varianty řešení. První varianta je klasická koncepce čištění a dočištění odpadní vody z procesu barvení tak, jak je nejčastěji aplikována v zemích, kde se znovuvyužití v současnosti praktikuje. Druhá varianta navrhuje sestavu čistírenské linky a zařazení AOP procesu tak, jak jej předpokládá projekt AOP4WATER. Studie je provedena formou technické zprávy, obsahuje hydrotechnické výpočty, technologická schémata a situace obou variant. V závěru je uvedeno krátké ekonomické vyhodnocení návrhů.

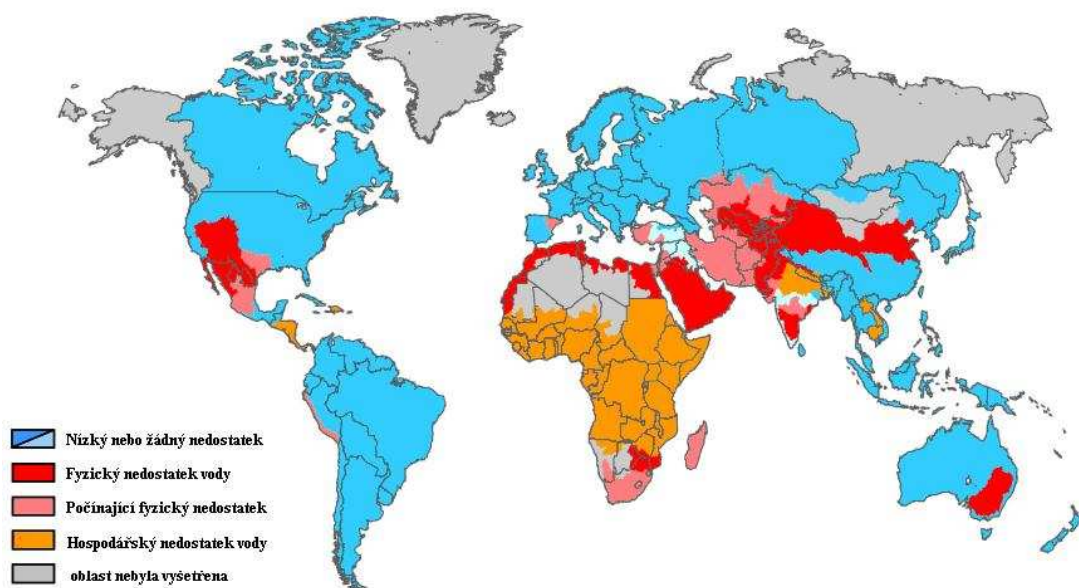


## 2. ZNOVU-UŽITÍ VYČIŠTĚNÉ VODY

### Důvody směřující ke znovu-užití čištěných vod

Voda pokrývá 70 % zemského povrchu. Na první pohled se zdá být nevyčerpatelnou, a snadno dostupnou surovinou. To ale neplatí pro vodu čistou, která je potřebná nejen pro osobní potřeby každého jedince a domácí využití, ale také pro množství výrobních procesů. Z celkového množství vody na zemi je jako čistá voda využitelných asi jen 2,5%, a její množství se neustále snižuje. Z celkové spotřeby tvoří zemědělství průměrně 70%, průmysl 22%, a použití v domácnostech 8%.

Nedostatek pitné vody již v současné době ohrožuje řadu oblastí, a do budoucna se předpokládá, že počet ohrožených zemí bude stále narůstat. Příčinou snižujícího se množství je rostoucí populace a narůstající průmyslová výroba, která jednak vykazuje vysokou spotřebu čisté vody, jednak produkuje a vypouští do povrchových vod výrazné znečištění. Množství kontaminovaných vod tak rychle narůstá. Předpokládá se, že do roku 2025 budou trpět nedostatkem vody až 3 miliardy lidí. Mezi země, které v dnešní době trpí nedostatkem vody, patří například Jemen, Čína, Indie, Turecko, Mexiko a spousta dalších. (Bender N. 2004) Obr. 1 znázorňuje oblasti s nedostatkem vody.



Obr. 1 Oblasti fyzického a hospodářského nedostatku vody (IMM report. 2006)

O fyzický nedostatek vody se jedná v případě, že voda v oblasti fyzicky chybí (aridní oblasti). Hospodářský nedostatek je takový, kdy obyvatelstvo nemá potřebné peněžní prostředky na využití existujících zdrojů vody. (IMM report. 2006)

Významný podíl na nedostatku pitné vody má znečištění vnášené do vod. Hlavním zdrojem znečištění jsou odpadní vody. Naštěstí má už v dnešní době většina zemí stanoveny požadavky na kvalitu vody vypouštěné do toků. Bohužel v řadě z nich chybí prostředky pro kontrolu dodržování těchto nařízení. Nedostatek vody se začíná stávat globálním problémem, který je nutné v první řadě řešit přísnými omezeními pro

vypouštění OV. V budoucnosti se předpokládá i v našich podmínkách zpřísnění požadavků na kvalitu čištěných odpadních vod vypouštěných do toků. (*Bender N. 2004*)

## **Textilní průmysl a voda**

Textilní průmysl je jedním z největších odběratelů vody. Požadavky na kvalitu vody jsou velmi přísné, v některých parametrech dokonce vyšší než pro vodu pitnou. Voda je v textilním průmyslu používána v řadě procesů. Během výroby je znečištěna širokou škálou nebiodegradabilních a těžce odstranitelných látek. Klasické čistírenské postupy si s některými složkami znečištění neporadí. Zbytková část je vypouštěna do povrchových vod. Vzhledem k velkým objemům odpadních vod je i vnos znečištění vysoký. Celý proces vede k vyčerpávání zdrojů vody a zhoršující se kvalitě povrchových toků.

Z důvodu vysoké spotřeby vody je zásadním úkolem podrobněji se zabývat jejím důkladným čištěním a znovuvyužitím ve výrobě.

## **Znovu-užití odpadních vod**

Znovu –užití čištěných odpadních vod je rozvíjející se přístup k nakládání s vodami, který povede k snížení spotřeby čisté vody, omezování vnosu znečištění do životního prostředí a k celkově šetrnějšímu hospodaření s vodou.

EPA definuje znovu-užití vod jako využití čištěných odpadních vod z jedné aplikace v aplikaci jiné (popřípadě stejné). V roce 1992 EPA vydala pokyny ke znovuvyužití odpadních vod. Dokument obsahuje mimo jiné požadavky na čištění odpadních vod pro znovuožití a požadavky na vyčištěnou vodu pro různé zdroje a cílová odvětví. (*US EPA. 2004*).

V některých zemích s nedostatkem vody, jako je Indie, Čína a Turecko, je čištění a znovuvyužití vody již v dnešní době výhodné. Důvodem jsou vysoké náklady na odběr a vypouštění vod a také náklady spojené s předčištěním odebrané vody, která z důvodu špatné kvality nesplňuje požadavky pro výrobu.

Znovuvyužití vody je přístup, který napomáhá udržitelnému rozvoji a umožní zachovat zdroje čerstvé vody i pro následující generace. (*Visvananhan C. a Asano T. 2002*)

V rámci diplomové práce je uvažováno se znovu –užitím odpadní vody čištěné technologií pokrokových oxidačních procesů (AOP). Znovu –užití v oblasti textilního průmyslu je proces, vyžadující komplexní znalost poznatků jak o procesech čištění odpadních vod, tak také o vodním hospodářství a produkovaném znečištění cílového odvětví.

### 3. POKROKOVÉ OXIDAČNÍ PROCESY (AOP)

#### 3.1 PŘEDSTAVENÍ AOP

Růst populace a průmyslových odvětví vede ke stále větší produkci odpadních vod. Splaškové odpadní vody jsou úspěšně čistitelné klasickými mechanicko – biologickými postupy. Vedle toho průmyslové odpadní vody z některých odvětví výroby mohou tvořit při čištění problém. Jedná se například o odpadní vody z textilního, papírenského, kožedělného, chemického a farmaceutického průmyslu. Tyto vody často obsahují nebezpečné toxické a perzistentní organické sloučeniny, které jsou biologickými metodami čištění neodstranitelné, kumulují se ve vodách i v čistírenském kalu, který tak znehodnocují a zhoršují kvalitu životního prostředí. Tvoří tím výzvu pro vývoj účinných environmentálních postupů. Stále dochází ke studiu technologií, které by dokázaly problémové látky úspěšně odstranit a současně tak vytvářely potenciál pro znovuvyužití čištěných odpadních vod. V současné době jsou hlavními větvemi výzkumu membránové technologie na jedné straně a oxidační procesy na straně druhé. Zatímco u membránových technologií se předpokládá zachycení nežádoucích látek na membráně, která vytváří bariéru, u oxidačních technologií probíhá chemická degradace těchto látek na jednodušší, snadno odstranitelné a neškodné sloučeniny. Odpadají tak problémy s likvidací vzniklého zachyceného materiálu. (Dušek L., 2009)

Běžně známá oxidační činidla ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  a další) nejsou dostatečně silná pro úplný rozklad toxického a rezistentního znečištění. Látky oxidují jen částečně a nevedou tak k jejich eliminaci. Oxidační procesy procházely a stále procházejí vývojem a v současnosti již existují oxidační postupy, které účinně rozkládají i jinými způsoby nedegradovatelné látky. Tyto postupy se označují jako Pokrokové oxidační procesy - AOP (z anglického „advanced oxidation processes“).

#### 3.2 PRINCIP FUNKCE AOP

Všechny pokrokové oxidační technologie fungují ve své podstatě na stejném principu. Sestávají ze 2 kroků: (Glaze W.H. et al., 1987)

1. generace hydroxylového radikálu  $\text{OH}\cdot$  jako silného oxidačního činidla
2. reakce hydroxylového radikálu se složkami znečištění ve vodách a jejich oxidace

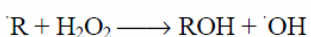
Radikály jsou molekuly s nespárovaným elektronem. Jsou velmi nestabilní a snadno reagují s jinými sloučeninami ve snaze spárovat elektron. (Gottschalk Ch. et al., 2010) Radikály obecně vznikají při oxidačně – redukčních reakcích. Při nich dochází k přenosu elektronů mezi dvěma sloučeninami, kde jedna z nich vystupuje jako oxidační činidlo (sama je akceptorem elektronů a oxiduje tak jiné látky) a druhá jako redukční činidlo (je donorem elektronů, jiné látky redukuje). Po reakci mají obě sloučeniny lichý počet valenčních elektronů. Sloučeniny jsou kvůli nespárovaným elektronům vysoce nestabilní a reaktivní. Dále vstupují do reakcí, kde působí jako silná oxidační činidla. (Glaze W.H. et al., 1987)

Hydroxylový radikál je extrémně silné oxidační činidlo. Hned po fluoru je druhým nejsilnějším oxidovadlem. Sílu oxidačního činidla vyjadřuje jeho oxidačně – redukční potenciál, veličina popisující schopnost sloučeniny oxidovat jiné látky. Oxidačně . redukční potenciál hydroxylového radikálu má hodnotu 2,8 V (Tab. 1)

**Tab. 1 Přehled oxidačních činidel používaných pro úpravu vody a jejich standardních oxidačně – redukčních potenciálů ( $E^0$ ) při teplotě 25°C (Dušek L., 2009)**

Činidlo	Reakce	$E^0$ (V)
Fluor	$F_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2HF(aq)$	3,03
Hydroxylový radikál	$OH^\bullet + H^+ + e^- \rightleftharpoons H_2O$	2,80
Singletový kyslík	$O^1 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2O$	2,42
Ozon	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2O + O_2$	2,07
Peroxodisíran sodný	$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}$	2,01
Peroxid vodíku	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1,78
Hydroperoxidový radikál	$2HOO^\bullet + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O + O_2$	1,70
Manganistan draselný	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	1,68
Oxid chloričitý	$ClO_2 + 4H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Cl^- + 2H_2O$	1,57
Dvojjchroman draselný	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,38
Chlor	$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1,36
Kyslík rozpuštěný ve vodě	$O_2(g) + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1,22
	$O_2(g) + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2O_2$	0,68

Při reakci hydroxylového radikálu se spouští řetězec reakcí, které vedou v konečném důsledku až k mineralizaci organické hmoty (vznik  $CO_2$ ,  $H_2O$  a anorganických solí). Oxiduje organické sloučeniny formou odtržení vodíku. Tak vznikají organické radikály, které mohou dále reagovat s kyslíkem, a vytvářet tak peroxylové radikály  $O_2^\bullet$ . Tyto meziprodukty prochází řetězcem reakcí, vedoucích k úplné mineralizaci. (Munter R., 2001)



Jednotlivé AOP se liší mechanismem generace  $OH^\bullet$ . Mechanismy generace jsou uvedeny v kapitolách popisujících jednotlivé AOP.

AOP procesy poskytují řadu výhod, mezi které patří silný oxidační účinek a mineralizace i rezistentních znečištění a silný dezinfekční účinek. Jejich použití s sebou nese i jisté nevýhody.

Ozon jako oxidační činidlo je velmi reaktivní látka. Při aplikaci reaguje s řadou organických i anorganických složek. Reakce vedou ke vzniku některých nežádoucích vedlejších produktů, které mohou být škodlivé. Vznik vedlejších produktů je závislý na více faktorech. Patří k nim složení ozonizované vody, způsob čištění či úpravy (jednotlivé stupně) a provozní podmínky (teplota, pH, kontaktní doba a dávka oxidovadla). Typ vznikajících meziproductů je rovněž závislý na tom, zda se jedná o samotnou ozonizaci, nebo kombinaci více AOP procesů.

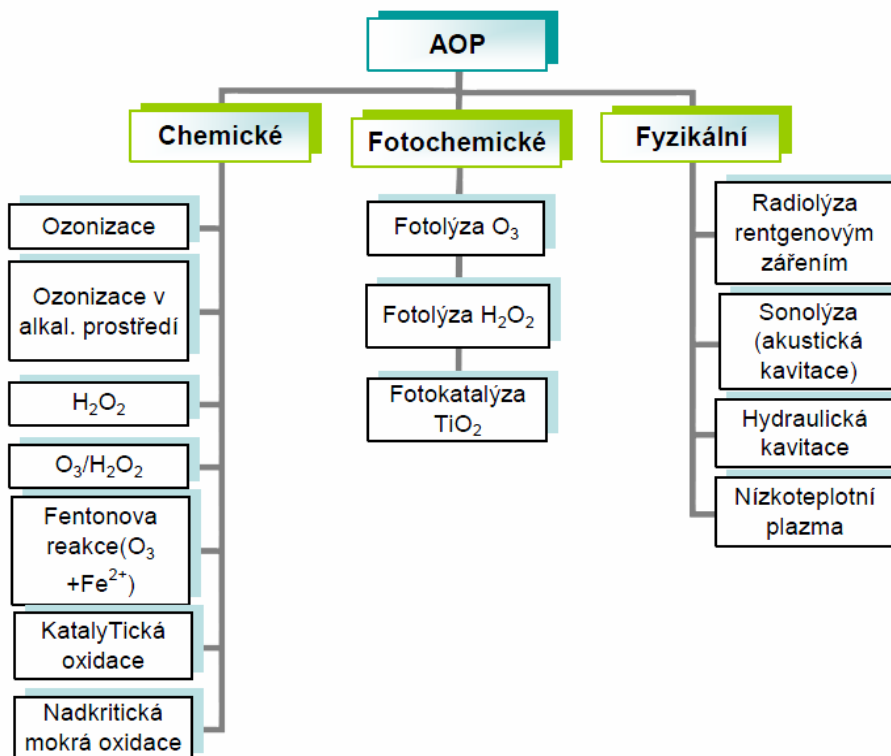
Meziprodukty mohou dále reagovat s  $\text{OH}^\cdot$ . Pokud je jejich reakční rychlost nižší než rychlost jejich samotného vzniku, začínají se akumulovat. AOP procesy by měly být navrženy tak, aby docházelo k úplné mineralizaci organického znečištění na konečné produkty -  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ . To může být v některých případech energeticky a finančně náročné. (Kommineni S., 2010). AOP však nejsou jediné oxidační procesy, při kterých vznikají vedlejší produkty. Dá se říct, že se stejným problémem se potýkají i ostatní oxidační procesy (chlorace aj.). (Gottschalk Ch. et al., 2010)

### 3.3 ROZDĚLENÍ AOP

Celou škálu procesů, které jsou zahrnuty mezi pokrokové oxidační technologie, je možné rozdělit několika způsoby.

Často se v literatuře objevuje dělení procesů podle podstaty samotného děje a to na chemické, fotochemické a fyzikální. Dále se používá dělení na procesy fotochemické (s účastí UV záření) a nefotochemické. V případě přidavku chemikálií se jedná o proces chemický. V případě působení UV záření jde o proces fotochemický nebo fotokatalytický. O katalytické procesy se jedná v případě přidavku katalyzátoru. Katalytické procesy se rozdělují na homogenní a nehomogenní, podle rozpustnosti katalyzátoru. Homogenní procesy jsou většinou založeny na rozpuštěných iontech kovů (např. Fentonova reakce). Heterogenní procesy využívají katalyzátory v pevném skupenství, které jsou buď suspendované, nebo imobilizované. (Gottschalk Ch. et al., 2010)

Tab. 2 Přehled AOP technologií podle podstaty procesu (Munter R. 2001)



**Tab. 3 Dělení procesů založených na ozonizaci: (Gottschalk Ch. et al., 2010)**

Proces	Kombinace
Chemický	O <sub>3</sub> / zvýšené pH O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Fotochemický	O <sub>3</sub> /UV H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV
Katalytický	
Homogenní	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> nebo O <sub>3</sub> /UV
Heterogenní	TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> nebo O <sub>3</sub> /UV

Předmětem této rešeršní části práce není podat přehled všech uvedených pokrokových oxidačních technologií. Diplomová práce je řešena v návaznosti na právě probíhající projekt AOP4water. Popsány jsou tedy jen ty AOP procesy, které jsou testovány v rámci projektu.

### 3.4 PŘEHLED AOP TECHNOLOGIÍ ŘEŠENÝCH V RÁMCI AOP4WATER:

#### A. Samostatné procesy

1. O<sub>3</sub>
2. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
3. UV
4. US

#### B. Kombinace AOP procesů

1. O<sub>3</sub> + UV
2. O<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
3. US + O<sub>3</sub>

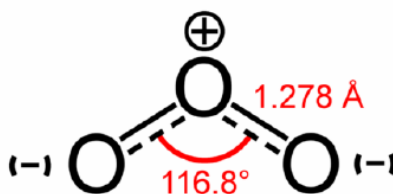
## 3.5 OZONIZACE

### 3.5.1 Vlastnosti ozonu

Ozon je za normálních podmínek vysoce reaktivní nestabilní plyn namodralého zbarvení s charakteristickým zápachem, který dokáže člověk zaregistrovat již při koncentracích 0,02 – 0,05 ppm<sup>1</sup>. Má silné oxidační účinky, oxiduje organické i anorganické sloučeniny. Při ochlazování ozon kondenzuje na tmavě modrou kapalinu a dále tuhne na tmavě modrou pevnou látku. Molekula ozonu je složena ze tří atomů kyslíku, na rozdíl od stabilní dvouatomové molekuly kyslíku. Na prostředním atomu kyslíku je kladný náboj, na obou krajních je náboj záporný. (Wikipedie – Ozon, 2011)

---

<sup>1</sup> 1ppm = 2 mg/m<sup>3</sup>



Obr. 2 Stavba molekuly ozonu (Wikipedie – Ozon, 2011)

Ve vodě je ozon rozpustnější než kyslík, avšak 12 krát méně rozpustný než chlor. Jeho rozpustnost je poměrně nízká (rozpustnost 100% ozonu je pouze 570 mg/l). (US EPA, 1999)

Ozon je toxický plyn. Při koncentracích několik ppm může způsobovat mírné zdravotní komplikace (bolest hlavy, kašel, sucho v krku). Odhaduje se, že vystavení se koncentraci 50 ppm po dobu 30 minut může být smrtelné. (Gottschalk Ch. et al., 2010)

Ozon je aplikován jako dezinfekční činidlo nebo jako silné oxidační činidlo odstraňující nežádoucí látky. Jedná se například o odstranění bakterií, virů, organických a anorganických sloučenin. Je alternativou k použití oxidantů na bázi halogenů, nezanechává však žádná rezidua a nevyžaduje uchovávání potřebných chemikálií. (DISA v.o.s. 2011)

Ozon rozpuštěný ve vodě se samovolně rozkládá. Rychlost rozkladu závisí na teplotě a pH. (Malý J. a Malá J. 2006)

### 3.5.2 Mechanismus reakce ozonu

Ozon reaguje s látkami dvěma různými mechanismy: (Gottschalk Ch. et al., 2010)

- Přímá reakce molekulárního ozonu se složkami znečištění
- Nepřímá reakce prostřednictvím generace hydroxylového radikálu OH·

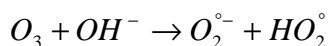
Přímá reakce molekul ozonu má pomalý průběh. Molekuly ozonu reagují s nenasycenou vazbou (dvojná či trojná vazba) a vedou k jejímu rozštěpení. (Gottschalk Ch. et al., 2010)  
K přímé reakci dochází především v kyselém prostředí (Hoigné J. and H. Bader, 1977)

Nepřímá reakce prostřednictvím generace hydroxylových radikálů je znatelně rychlejší (106 – 109 krát vyšší rychlost než přímá reakce). Za normálních podmínek je ale koncentrace OH· nízká. K rozpadu ozonu na hydroxylové radikály dochází ve vodním prostředí, kde je ozon značně nestabilní. Rozpad ozonu může být urychlen a podpořen v určitých podmínkách, ke kterým patří vysoká hodnota pH, účinek UV záření nebo přítomnost H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Se zvyšujícím se pH se zvyšuje rychlost rozkladu ozonu ve vodě. (Gottschalk Ch. et al., 2010)

#### Generace OH· při zvýšeném pH

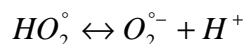
Zvýšené pH tvoří vhodnou podmínku pro urychlení rozpadu ozonu na volné radikály. Tento rozpad sestává dle (Gottschalk Ch. et al., 2010) z několika kroků.

V prvním kroku dochází k rozkladu ozonu, který je urychlený přítomností OH<sup>-</sup>. Vzniká superoxidový anion a hydroperoxylový radikál:

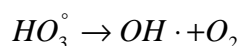
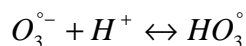
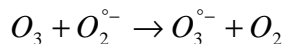




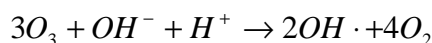
Hydroperoxylový radikál je v rovnováze se superoxidovým aniontem (kyselé pH)



Superoxidový anion reaguje s ozonem za vzniku ozonidových aniontů, které se hned rozkládají:



Celková reakce:



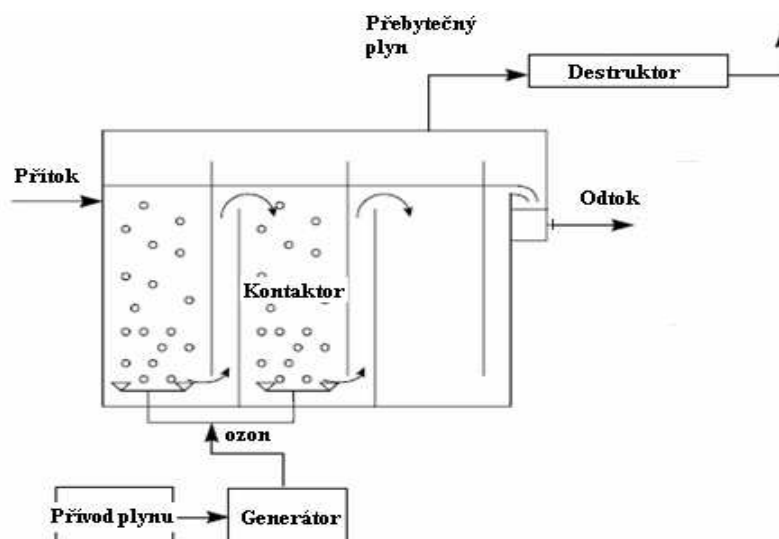
Vzniklé hydroxylové radikály mohou být velkou měrou pohlcovány hydrogenuhlíčitany a uhličitany obsaženými ve vodách. (Gottschalk Ch. et al., 2010)

### 3.5.3 Prvky systému ozonizace

Molekula ozonu je velmi nestabilní, ozon proto musí být generován přímo v místě využití. Systém pro generaci ozonu má několik nezbytných částí: (US EPA, 1999)

- Systém přívodu plynu
- Generátor ozonu
- Systém vnosu ozonu do vody
- Kontaktor
- Destruktor

Schéma celého systému je uvedeno na obr. 3 na následující straně.



Obr. 3 Schéma systému ozonizace (US EPA, 1999)



## **Systém přívodu plynu**

Ozon je vyráběn na místě z pracovních plynů obsahujících kyslík. Úkolem systému přívodu plynu je připravit čistý a suchý zdroj ozonu. Jako pracovní plyn slouží:

- vzduch
- čistý kapalný kyslík dodávaný ze zásobníků kyslíku (LOX = liquid oxygen)
- čistý stlačený plynný kyslík (GOX = gas oxygen)
- kyslík vyráběný na místě pomocí generátorů kyslíku (VSA, PSA)
- směs obou plynů (vzduch obohacený o kyslík)

Systémy využívající vzduch jsou složitější než ty využívající kyslík. Skládají se z filtru, kompresoru, sušičů a regulátorů tlaku. Vzduch musí být čistý a suchý, aby nedošlo k poškození ozonizátoru. (US EPA, 1999)

Čistý kyslík může být skladován v zásobnících kyslíku nebo může být generován na místě. V zásobnících kyslíku je možné skladovat plynný stlačený kyslík (GOX), nebo kyslík zkapalněný (LOX). (DISA v.o.s. 2011)

Generace kyslíku na místě se provádí separací kyslíku ze vzduchu kryogenním způsobem. Při této metodě je vzduch stlačen, odstraní se z něj vlhkost, mechanické nečistoty a CO<sub>2</sub> a ochladí se na extrémně nízkou teplotu. Vzniká tak kapalina, ze které se čistý kyslík oddělí frakční destilací. První variantou kryogenní generace je vakuová adsorpce (VSA), druhou variantou tlaková adsorpce (PSA). (Linde gas, 2011)

Systémy využívající čistý zkapalněný kyslík jsou složeny z nádoby na kyslík, výparníku (zde probíhá přeměna kapalně fáze na plynnou), z filtrů a redukčního ventilu. (US EPA, 1999) Porovnání některých možností jsou uvedeny v Tab. 4.



**Obr. 4** Separace kyslíku ze vzduchu  
(Beneš J. 2011)



**Obr. 5** Zásobník kapalného kyslíku  
(Beneš J. 2011)

## **Vzduch versus kyslík**

V dřívější době převažovaly systémy ozonizace vyrábějící ozon ze vzduchu. V dnešní době dochází k příklonu k systémům vyrábějícím ozon z kyslíku. Vývoj elektrod generátorů vyrábějících ozon z kyslíku vedl ke zvýšení výtěžnosti ozonu při generaci a současně ke snížení spotřeby elektrické energie (tab. 5). (Beneš J. a Hořava P. 2010)

**Tab. 4 Porovnání systémů přípravy ozonu z kyslíku (US EPA, 1999)**

Zdroj	Výhody	Nevýhody
Kyslík (obecně)	Vyšší koncentrace ozonu (8 - 14%) vhodný pro malé i velké systémy	Materiály odolné vůči kyslíku bezpečnostní rizika
LOX	Malé nároky na vybavení Jednoduchý provoz a údržba vhodné pro malé a střední systémy	cena LOX Skládování kyslíku na místě spotřeby Úbytek skladovaného kyslíku, pokud není využíván
Kryogenní generace (VSA, PSA)	vhodné pro menší systémy Vybavení podobné jako u systémů výroby ozonu ze vzduchu	komplexnější než LOX složitější údržba a provoz vyšší investiční náklady

**Tab. 5 Porovnání parametrů generace ozonu ze vzduchu a z kyslíku (Beneš J., Hořava P. 2010)**

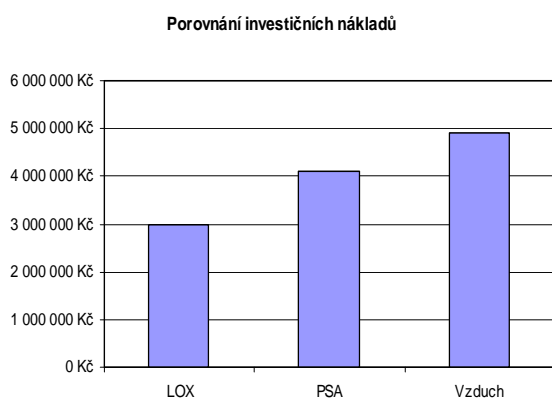
Parametr	Vzduchové generátory	Kyslíkové generátory
Koncentrace ozonu v plynu	2 – 3 hmotnostní %	10 – 13 hmotnostních %
Spotřeba el. Energie na 1 Kg O <sub>3</sub>	15 – 20 kWh	6 – 12 kWh
Typické koncentrac O <sub>3</sub> (g/m <sup>3</sup> )	15-60	100-240
Dodatečná zařízení	Kompresor, sušičky, chladič, separátor kondenzátu, mech. filtry, zásobník vzduchu, měření rosného bodu, chlazení kompresoru, filtr s AU	Zásobník

### Náklady na provoz ozonizace

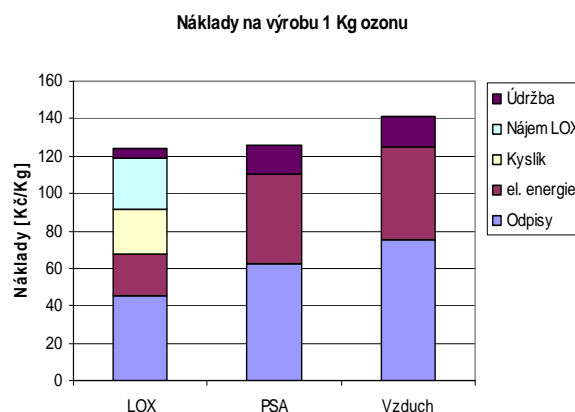
Z hlediska investičních nákladů je nejvhodnější variantou volba zásobníků kapalného kyslíku (LOX) jak je patrné z obr. 6. Provozní náklady jsou u této varianty závislé na ceně kapalného kyslíku, elektrické energie a ceně za pronájem zásobníku (obr. 7).

U systému PSA nejsou provozní náklady závislé na ceně kyslíku, ale systém s sebou nese vyšší investiční náklady, vyšší požadavky na údržbu a vybavení a má velké prostorové nároky.

Výroba kyslíku ze vzduchu má nejvyšší investiční i provozní náklady, dnes se už téměř nepoužívá.



**Obr. 6 Porovnání investičních nákladů (Beneš J. 2011)**



**Obr. 7 Náklady na výrobu 1 Kg ozonu (Beneš J., 2011)**

## **Generátor ozonu**

Generátory ozonu vyrábí ze vstupního plynu plyn bohatý na ozon. Existuje řada způsobů generace ozonu: (US EPA, 1999)

- Korónový výboj (Tichý elektrický výboj)
- UV generátory ozonu
- Vakuové – UV generátory

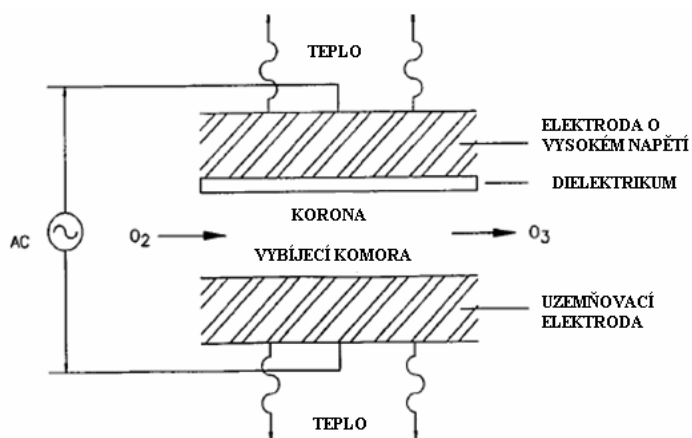
Nejčastěji používaný je korónový výboj, často nazývaný tichý elektrický výboj. Plyn obsahující kyslík při něm prochází mezi dvěma elektrodami, které jsou odděleny dielektrikem a vybíjecí komorou. Na elektrody je přiváděno vysoké napětí (6000 – 18000 V).

Moderní elektrody generátorů jsou konstruovány tak, aby: (Beneš J., Hořava P. 2010)

- Snížily riziko průrazu dielektrika
- Dosahovaly koncentrací ozonu 10 – 13 %
- Snížily spotřebu elektrické energie
- Dosáhly vyšší životnosti

Mezi elektrodami ve vybíjecí komoře se vytváří elektrické pole. Některé molekuly kyslíku se v elektrickém poli rozpadnou, připojí se k volným molekulám kyslíku a vytvoří tak ozon. Většina elektrické energie se přemění na teplo (okolo 85% elektrické energie). Generátor ozonu musí být chlazen, aby pracoval s vysokou efektivitou. Důležitou součástí systému generace ozonu je tedy chladič uzavřených chladících okruhů. Chlazení generátoru může být vzduchem nebo vodou. (US EPA, 1999)

Generátory ozonu mohou mít dvě geometrické konfigurace. Jedná se o paralelní a cylindrické uspořádání elektrod. Paralelní generátory bývají chlazeny vzduchem, cylindrické jsou chlazeny vodou.



**Obr. 8 Paralelní konfigurace generátoru (US EPA, 1999)**

Generátory je možné rozdělit podle frekvence přiváděného napětí na nízkofrekvenční (50 – 60 Hz), se střední frekvencí (60 – 1000 Hz) a vysokofrekvenční (> 1000 Hz). (US EPA, 1999)

Výtěžek ozonu se zvyšuje s rostoucí frekvencí střídavého proudu. Obsah ozonu v produkovaném plynu je závislý na dodané energii. Obsah ozonu je tím vyšší, čím vyšší je dodaná energie na výrobu jednotky ozonu (tab. 6). Současně obsah ozonu závisí také na průtoku vstupního plynu ( $O_2$ ). (Malý J. a Malá J. 2006) Pro výrobu plynu o stejném obsahu ozonu je možné použít různé kombinace průtoku vstupního plynu a dodané specifické energie.

**Tab. 6 Výkony generátoru s frekvencí 600 Hz (Malý J., Malá J. 2006)**

Zdroj vzduch		Zdroj kyslík	
Obsah $O_3$	Specifická energie	Obsah $O_3$	Specifická energie
(g/Nm <sup>3</sup> )	Wh.g-1	(g/Nm <sup>3</sup> )	Wh.g-1
7	10	60	5
20	15	80	8
40	22	100	11

Účinnost generátoru ozonu ovlivňuje řada faktorů. V závislosti na vstupním plynu (viz kapitola příprava plynu), síle elektrického pole, chlazení a konstrukci generátoru ozonu lze dosáhnout výtěžnosti ozonu 1 až 16 hmotnostních % z použitého plynu. Spotřeba energie je obvykle mezi 12 a 18 kW/kg ozonu, závisí na koncentraci a teplotě chladicí vody. (DISA v.o.s. 2011)

### **Systém vnosu plynu do vody**

Jedná se o významnou součást systému ozonizace. Zahrnuje prvky, které zajišťují přívod plynu s vysokou koncentrací vyrobeného ozonu do místa aplikace a dále samotné injektory pro vnos plynu do vody. V současnosti je kladen důraz na účinnost rozpouštění plynu ve vodě. Pro vnos ozonu do vody je možné využít několik typů zařízení: (US EPA, 1999)

- Difuzory jemných bublin
- Injektory
  - Vstřikování do hlavního proudu
  - Vstřikování do bočního proudu
- Turbínová míchadla

Pro důkladné promísení s kapalinou se v současnosti hojně využívají systémy na bázi statických mísičů. Jejich účinnost je vyšší než 95 %.



**Obr. 9 Princip funkce STATIFLO (Lenntech [online])**

## **Kontaktor**

Kontaktor zahrnuje vlastní reakční prostor, kam je směs vody a ozonu po důkladném mísení odváděna. Kontaktor slouží k přenosu plynu bohatého na ozon do čištěné vody. V reakčním prostoru kontaktoru dochází k rozpouštění ozonu ve vodě a k jeho reakcím se znečišťujícími látkami. Účinnost kontaktoru a přestup ozonu do vody může být 90 – 95 %. Jako kontraktory se využívají nerezové nádrže a v případě vyšších potřebných objemů betonové nádrže vybavené vhodnými přepážkami tak, aby byla co nejvíce prodloužena kontaktní doba. Plyn bohatý na ozon, který není využit, odchází z kontaktoru do destrukturu jako přebytečný plyn.

## **Destruktory ozonu**

Přebytečný plyn odváděný z kontaktoru do destrukturu obsahuje vysoké koncentrace ozonu (3 000 ppm). V destrukturu se přebytečný plyn shromažďuje, a probíhá zde destrukce ozonu za působení vysoké teploty – termální destrukce ( $> 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), aby nedošlo k hromadění vlhkosti. Vedle termální destrukce je možné využít proces katalytické destrukce, nebo kombinaci obou (Kommineni S. et al., 2010). Koncentrace ozonu v závěru procesu je nižší než 0,1 ppm. Na výstupu z destrukturu je umístěny ventilátor, který zamezí úniku ozonu z jednotky do okolí.



Obr. 10 Generátor ozonu PDO/PDA  
(DISA v.o.s. 2011)



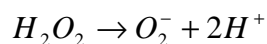
Obr. 11 Destruktor  
(Beneš J. DISA v.o.s, 2011)

## **3.6 PEROXID VODÍKU - $\text{H}_2\text{O}_2$**

### **3.6.1 Vlastnosti $\text{H}_2\text{O}_2$**

Peroxid vodíku je světle modrá kapalina. Po naředění vodou působí jako bezbarvá kapalina s typickým štiplavým zápachem. Má vyšší viskozitu a vyšší hustotu než voda. S vodou je dobře mísitelný v libovolném poměru. Jedná se o slabou kyselinu se silnými oxidačními vlastnostmi. Čistý peroxid vodíku má pH o hodnotě 6,2. 30%ní vodný roztok peroxidu vodíku (perhydrol) je chemicky velmi slabá kyselina, která tvoří soli – peroxidy ( $\text{O}_2$ )<sup>2-</sup>. (Co je co, 2011)

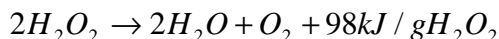
## **Hydrolyza peroxidu vodíku ve vodě:**



Používá se jako dezinfekční prostředek (3% vodný roztok) a oxidační činidlo. Nicméně, pokud je použit v kombinaci se silnými oxidačními činidly, může vystupovat jako redukční činidlo.

## **Stabilita H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

Peroxid vodíku je poměrně stabilní. Podléhá rozkladu na vodu a kyslík za uvolnění tepla, tento rozklad je ale pomalý.



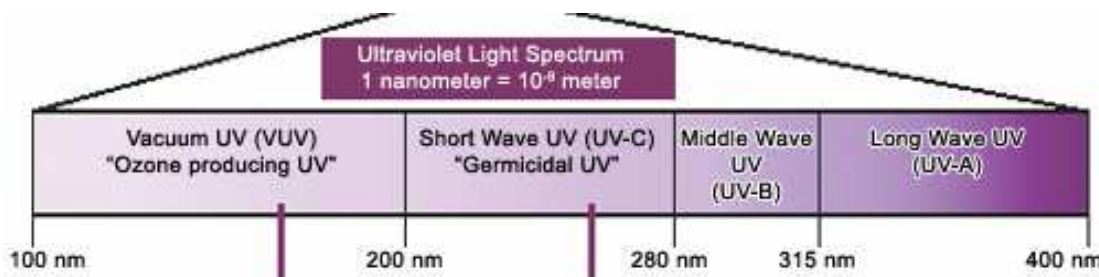
Působením některých faktorů však může dojít k urychlení dekompozice peroxidu. Jedná se o působení teploty, pH, světla a o kontakt s některými nežádoucími kontaminanty. Rychlost rozkladu se zdvojnásobí při zvýšení teploty o 10°C. Teplo uvolněné rozkladem rovněž podněcuje další rozklad. Mezi nežádoucí kontaminanty patří například silné kyseliny, soli některých kovů (Ni, Cu, Fe ) a kovy (Cu, mosaz, Zn, Ag, Au aj.). Stabilitu při dlouhodobém přechovávání peroxidu zajišťují inhibitory rozkladu. Nejvyšší stabilitu má peroxid při neutrálním pH, se zvyšujícím se pH se stabilita výrazně snižuje. Působení světla může způsobit fotochemický rozklad peroxidu vodíku. Této vlastnosti se využívá u kombinací H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s UV zářením, které má vyšší dekompoziční účinek než bílé světlo. (Solvay chemicals, Inc, 2006)

Peroxid vodíku je relativně levná a snadno dostupná chemikálie. Samotný peroxid vodíku má mnohem slabší oxidační efekt než ozonizace. Je možné použít jej při čištění odpadních vod obsahujících vyšší hodnoty CHSK a BSK. K odstranění rezistentního znečištění se však samotný nepoužívá, mnohem vyšší účinek má v kombinaci s dalšími oxidačními technologiemi, jako jsou UV záření (fotolýza H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a ozonizace (Peroxon proces).

## **3.7 UV - FOTOLÝZA**

UV záření je možné rozdělit do tří podkategorií: (US EPA, 1997a)

- UV – A –  $\lambda = 315 - 400$  nm
- UV – B –  $\lambda = 280 - 315$  nm
- UV – C –  $\lambda = 100 - 280$  nm

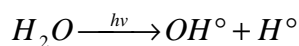


Obr. 12 UV spektrum (Ultraviolet science. 2011)



Právě UV- C zařízení, označované jako krátkovlnné, se používá v aplikacích pro úpravu pitných vod a čištění odpadních vod. Čím kratší je vlnová délka záření, tím vyšší energie je se zářením spojena. (US EPA, 1997a)

Vysoká energie je spojena s UV zářením o vlnové délce < 190 nm. Působením takového krátkovlnného záření dochází k přímému rozpadu vody na hydroxylový radikál a vodíkový radikál:



Takovéto záření se nazývá vakuové UV záření – VUV. Vede k tvorbě silného oxidačního činidla, a tudíž je velmi účinné při degradaci kontaminantů. (US EPA., 1998)

### 3.7.1 Mechanismus působení UV záření

Rozklad znečištění působením UV záření může probíhat dvěma způsoby: (Kommineni S. at al. 2010)

- Přímá fotolýza
- Nepřímá fotolýza

K přímé fotolýze dochází, když molekuly znečištění ve vodě pohlcují UV záření o dané vlnové délce. Molekuly přechází do excitovaného stavu a ochotně reagují s jinými látkami nebo se rozkládají.

Při nepřímé fotolýze dochází ke vzniku hydroxylových radikálů. Do systému je nutné přidat O<sub>3</sub> nebo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a tyto složky důkladně promísit s vodou. Až poté dochází k působení UV záření. UV záření molekuly oxidačních činidel rozloží na hydroxylové radikály, které dále reagují se znečištěním. (Kommineni S. at al. 2010)

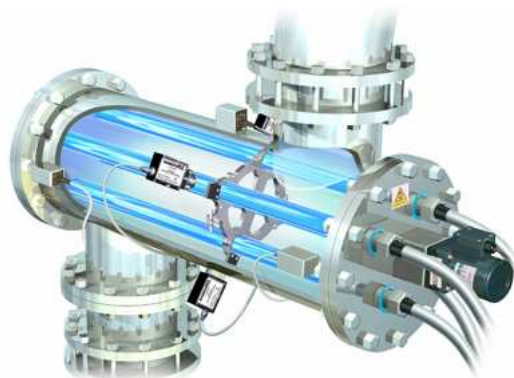
Důležitým poznatkem však zůstává, že účinnost UV záření je velmi závislá na absorbanci čištěné vody. Projekt AOP4WATER předpokládá umístění AOP technologie ihned na přítok odpadní vody. V případě odpadních vod z barvení textilu je však absorbance příliš vysoká a znemožnila by prostup UV záření. Potenciál použití UV v tomto místě je tedy nízký (Beneš J. 2011)

### 3.7.2 Prvky systému

Jako zdroje UV záření se používají rtuťové UV lampy. Jsou to trubkovité lampy s vnější křemennou obálkou. Základním prvkem UV lampy jsou elektrody. Uvnitř obálky dochází k emisi elektronů z elektrod. Tyto elektrony způsobují ionizaci inertního plynu. Vytváří se plazma, a dochází k zahřívání inertního plynu. To vede k vypařování atomů rtuti, které se srážejí s ionizovanými atomy plynu. Atomy rtuti přechází do excitovaných stavů. Při návratu do stavu základního nebo nižšího uvolňují část energie ve formě UV záření. Provozní teplota je okolo 40 °C. (Ultraviolet science. 2011)

UV reaktor obsahuje více UV lamp, které mohou mít různé rozmístění a polohu vůči toku vody. Kryt UV reaktoru a jeho geometrie je závislá na rozmístění lamp, rychlosti toku, prostupu vody a tlakových požadavcích. UV reaktory mohou být tlakové nebo s volnou hladinou. Tlakové reaktory jsou vyráběny z nerezové oceli, jedná se o uzavřené nádoby.

Reaktory o volné hladině jsou vyráběny z betonu nebo nerezové oceli. (Parsons S. A. 2004)



Obr. 13 UV reaktor (Halma PR Services. 2011)

Důležitým parametrem při fotolýze je dávka UV záření. Dávka UV záření je energie UV záření na jednotku čištěné odpadní vody. Udává množství elektrické energie aplikované na jednotku objemu, často je uváděna v jednotkách  $[\text{kWh}/\text{m}^3]$ . Parametr kombinuje průtočnou rychlost, dobu zdržení a intenzitu UV záření. K určení potřebné dávky UV záření pro dosažení zadaných odtokových parametrů jsou prováděny testy na konkrétní situaci pro návrh parametrů procesu. (Kommineni S. at al. 2010)

Používané zdroje UV záření: (Kommineni S. at al. 2010)

- Kontinuální nízkotlaké rtuťové výbojky (LP-UV)
- Kontinuální střednětlaké rtuťové výbojky (MP-UV)
- Pulsní xenonové obloukové lampy (P-UV)

Tab. 7 Charakteristiky zdrojů UV záření (Kommineni S. at al. 2010)

Charakteristika	Nízkotlaké	Střednětlaké	Pulsní
Záření	Monochromatické	Polychromatické	Polychromatické
Maximální vlnová délka (nm)	253,7	200 - 400	450
Provozní teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )	40 - 60	500 - 800	15 000
Délka oblouku (cm)	40 - 75	5 - 195	15
Životnost (hod)	8 000 - 10000	2000 - 5000	$> 100 \times 10^8$ pulzů
Intenzita záření	Nízká	Vysoká	Vysoká

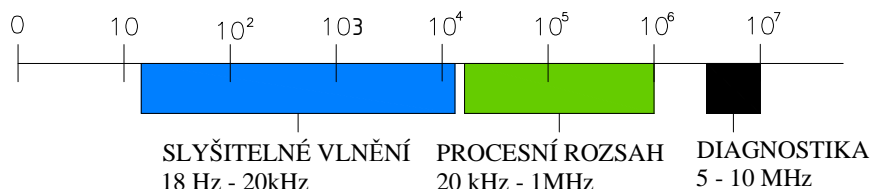
Nejčastěji používané jsou LP-UV a MP-UV. Nízkotlaké výbojky jsou energeticky méně náročné, efektivnější (vyzařují méně tepla) a mají delší životnost. Střednětlaké výbojky mají širší rozptyl vlnové délky produkovaného záření, jsou však méně efektivní při produkci UV záření a díky vyšší provozní teplotě mají nižší životnost. (Kommineni S. at al. 2010)

Nízkotlaké rtuťové výbojky vydávají přibližně z 82 % UV záření o vlnové délce 253,7 nm (ozn. 254 nm) a ze 7 % záření o vlnové délce 184,9 nm (ozn. 185 nm). Obal UV lampy pohltí většinu záření o vlnové délce 185 nm. Záření nízkotlaké UV lampy je tedy monochromatické. (Ultraviolet science. 2011)



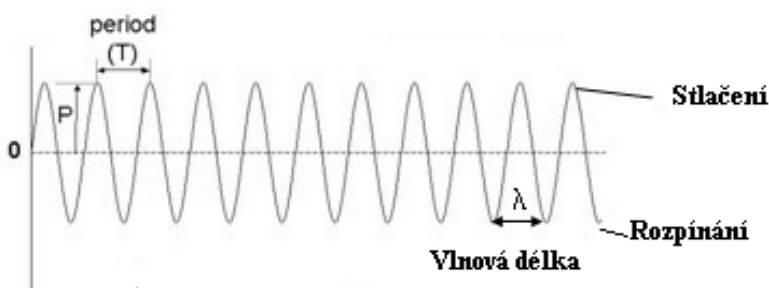
### 3.8 PŮSOBENÍ US -SONOLÝZA

Ultrazvuk je forma mechanické energie, akustické vlnění, jehož frekvence leží nad hranicí slyšitelnosti. Jedná se o frekvence vyšší než  $f = 20 \text{ kHz}$ . Vlnová délka ultrazvuku je tedy menší než vlnová délka zvukového vlnění. (Wikipedia - Ultrasound. 2011) Využití ultrazvuku v čistírenských aplikacích používá vlnění v rozmezí 20 – 40 kHz, v poslední době se však zvyšuje zájem o vyšší frekvence (obr. 14). (Parsons S. A. 2004)



Obr. 14 Frekvenční rozsahy ultrazvuku (Parsons S. A. 2004)

Vlnové šíření ultrazvuku znázorňuje sinusoida charakterizovaná tlakem, vlnovou délkou, frekvencí, periodou a rychlostí šíření. (Ultrasound for regional anesthesia. 2011)

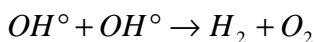
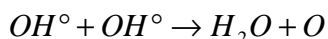
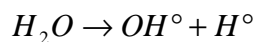


Obr. 15 Průběh akustické vlny (Ultrasound for regional anesthesia. 2011)

Působení ultrazvuku ve vodě se označuje jako sonolýza, neboli akustická kavitace. Ultrazvuk prochází médiem (voda) a při průchodu indukuje vznik akustického vlnění. Při vlnění dochází k periodickému stlačování a ředění molekul kapaliny. Při stlačování dochází k nárůstu tlaku v kapalině, při ředění dochází k poklesu tlaku. Při dostatečně vysokém výkonu zdroje ultrazvuku může dojít ve fázi zředování kapaliny k překročení přitažlivých sil mezi molekulami, dojde k poklesu tlaku pod tlak sytých par a začínají se vytvářet kavitační bubliny. Bubliny během několika cyklů narůstají až do dosažení rovnovážné velikosti. Po překročení této velikosti dochází k implozi bublin za vzniku vysoké teploty (4000K) a tlaku (1000 atmosfér). Ve vodním prostředí dochází ke generaci hydroxylových radikálů. K eliminaci kontaminantů dochází buď termálním rozkladem na povrchu bublin, nebo působením radikálů. (Kommineni S. 2010)

#### 3.8.1 Reakční mechanismus

Při sonolýze vody dochází k implozi vzniklých kavitačních bublin. Při implozi se vytváří extrémní podmínky, které způsobují přerušení vazby O – H v molekule vody. Tento proces vede k tvorbě radikálů ( $\text{OH}^\circ$ ,  $\text{HO}_2^\circ$ ,  $\text{H}^\circ$ ), molekulového kyslíku a peroxidu vodíku. (Parsons S. A. 2004)



Hydroxylové radikály jsou nejsilnější oxidační činidla, vznikají při implozi bubliny. Při jejich úniku do okolí se rekombinují za vzniku slabších radikálů a dalších sloučenin. (Parsons S. A. 2004)

**Výhody systému** (Kommineni S. 2004)

- Spotřeba energie je srovnatelná s použitím UV
- Systém vyžaduje malou údržbu
- Nižší přenos tepla než u systémů UV

**Nevýhody systému** (Kommineni S. 2004)

- Neexistují žádné aplikace na reálném vzorku vody
- Proces zefektivňuje kombinace s jinými oxidanty ( $O_3$ ,  $H_2O_2$ )

### 3.8.2 Prvky systému US

- Generátor ultrazvuku
- Reakční komora
- Čerpadla, potrubí
- Zdroj energie
- Čidla teploty, monitoring

V případě potřeby je možné do systému začlenit nádrže s chemikáliemi ( $H_2O_2$ ,  $O_3$ ) a dávkováním. Stejně tak může být systém rozšířen o UV moduly. (Kommineni S. 2010)

Ultrazvukové vlny jsou generovány při vstupu elektrického proudu do řady piezoelektrických krystalů rozmístěných na povrchu zářiče. Působení elektrického proudu způsobuje mechanickou deformaci krystalů, která vede k vibracím a produkci akustických vln (piezoelektrický efekt). Každý krystal produkuje ultrazvukové vlny v pulsech. Jeden puls se obvykle skládá z 2 – 3 vln o stejné frekvenci. Složením všech ultrazvukových vln vzniká ultrazvukový paprsek. (Ultrasound for regional anesthesia. 2011)

Hlavní faktory, které mají vliv na průběh sonolýzy, jsou: intenzita ultrazvuku (frekvence a amplituda), fyzikální vlastnosti kapaliny (viskozita, tlak nasycených par), teplota a rozpuštěné plyny (zefektivnění procesu). (Kommineni S. 2010)

Proces je možné ovlivnit především změnou frekvence ultrazvuku. Nejvyšší produkce hydroxylových radikálů je při vysokých hodnotách frekvence. Je to především způsobeno kratší dobou potřebnou k implozi bublin, která neposkytuje radikálům dostatečný čas pro jejich rekombinaci. Pro intenzifikaci procesu sonolýzy je možné systém sytit plyny (Kr, Ar, He,  $O_2$ ). (Hua I. and Hoffmann M. R. 1997)

Samotný proces sonolýzy není při degradaci znečištění příliš účinný. Pro dosažení požadované efektivity jsou provozní náklady příliš vysoké. Samotný ultrazvuk se používá ojediněle, častější jsou jeho kombinace s jinými oxidačními technologiemi.

Typy reaktorů užívaných při sonolýze: (Komminen S. 2004)

#### **Ultrazvuková čistící nádrž**

Kontaminovaná voda je vystavena ultrazvuku působením vnějších zářičů připevněných ke stěně nádrže, nebo ponořených zářičů. Reaktor je vhodný pro aplikace vyžadující nízkou intenzitu záření.

#### **Sondové reaktory**

Oscilace piezometrického krystalu jsou zesíleny vložením do kovové sondy, která je následně ponořena do kapaliny. Reaktory je možné provozovat v průtočném i diskontinuálním režimu.

#### **Trubkové reaktory**

Voda protéká potrubím, které je obklopeno zářiči. Tato zařízení se používají pro aplikace s velkou průtočnou rychlostí.

### **3.9 US/O<sub>3</sub>**

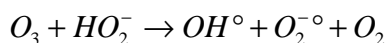
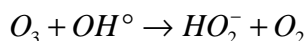
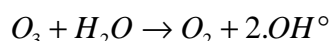
Ke zvýšení oxidačního účinku ultrazvuku se často používají oxidační činidla. Jednou z možností je kombinace US s ozonem. Ozon jako velmi silné oxidační činidlo má schopnost oxidovat organické znečištění až na vodu a oxid uhličitý.

#### **3.9.1 Reakční mechanismus**

Kombinace nabízí tři zdroje hydroxylových radikálů: (Parsons S. A. 2004)

- Radikály vzniklé sonolýzou vody
- Radikály produkované při chemické degradaci ozonem
- Radikály vzniklé při termofilním rozkladu ozonu v kavitační bublině

V kavitační bublině dochází k rozkladu ozonu na kyslíkové atomy a molekuly kyslíku, což vede k řadě reakcí produkujících hydroxylový radikál: (Parsons S. A. 2004)



Studie, které se zabývají kombinací US/O<sub>3</sub> prokazují, že účinnost je mnohem vyšší než při použití každého procesu separátně.

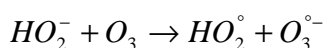
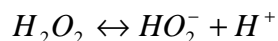
### **3.10 O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (PEROXON)**

Přídavek peroxidu vodíku vede k urychlení rozpadu ozonu, a tedy urychlení generace hydroxylových radikálů. Průběh procesu závisí na mnoha faktorech, kterými jsou dávka ozonu a peroxidu vodíku, kontaktní doba, složení čištěné vody a další. Peroxid vodíku může působit jako iniciátor, i jako pohlcovač hydroxylových radikálů. Při jeho aplikaci je

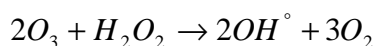
tedy důležité zvolit správnou dávku. Při příliš vysoké dávce může peroxid omezovat tvorbu hydroxylových radikálů a inhibovat tak celý proces. Poměr dávek  $H_2O_2$  a  $O_3$  je také velmi závislý na konkrétním procesu a složení čištěných vod (*US EPA. 1999*). Pohybuje se běžně v rozsahu 0,3 :1 – 3:1 v závislosti na OV. (*Kommineni S. 2004*) Důležitou roli při aplikaci kombinace ozon/peroxidu vodíku hraje pH. Při vysoké hodnotě pH je účinnost procesu nižší. Důvodem je převaha uhličitů ve vodách. Uhličitany reagují s hydroxylovými radikály 28krát rychleji než hydrogenuhličitany, které se ve vodě vyskytují při nižších hodnotách pH. Nevýhodou procesu je vznik řady vedlejších produktů. (*Gottschalk Ch. at al. 2010*)

### 3.10.1 Reakční mechanismus

Peroxid vodíku jako slabá kyselina disociuje ve vodě za vzniku  $HO_2^-$ . Reakce molekuly peroxidu vodíku v nedisociované podobě s ozonem je velmi pomalá. Ve většině případů reaguje s ozonem v podobě aniontu  $HO_2^-$  (poměrně rychlá reakce): (*Gottschalk Ch. at al. 2010*)



Další reakce už probíhají stejně jako u ozonizace. Souhrnnou rovnicí reakcí je možné zapsat jako: (*Gottschalk Ch. at al. 2010*)



Ze dvou molekul ozonu vznikají 2 hydroxylové radikály.

Řazení dle oxidační síly: (*Kommineni S. 2004*)



**Výhody kombinace  $O_3/H_2O_2$ :** (*Kommineni S. 2004*)

- Efektivnější účinek při odstraňování organických látek, než samotné procesy  $O_3$  nebo  $H_2O_2$
- Nižší potřebná dávka ozonu – snížení nákladů
- Jeden z nejvíce prozkoumaných AOP procesů

**Nevýhody kombinace  $O_3/H_2O_2$ :** (*Kommineni S. 2004*)

- V některých případech nutnost čistit přebytečný peroxid vodíku kvůli náchylnosti k mikrobiálnímu růstu
- V některých případech nutnost čistit přebytečný ozon

### 3.10.2 Prvky systému Peroxon

Hlavními prvky systému jsou: (*Kommineni S. 2004*)

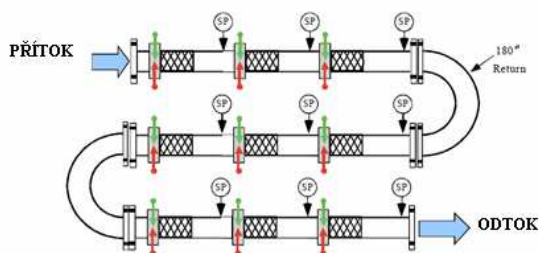
- Nádoba na uskladnění peroxidu vodíku
- Dávkování peroxidu vodíku
- Zdroj ozonu

- Generátor ozonu
- Kontaktor
- Destruktor
- Monitoring

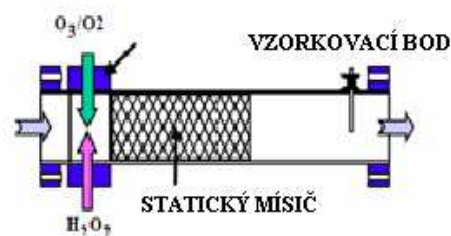
Peroxid vodíku je do systému dávkován jako vodný roztok. Dávkování ozonu probíhá podobně jako u samotné ozonizace. Pro peroxon proces je možné využít dvě různé konfigurace přívodu jednotlivých chemikálií a jejich mísení s kapalinou. (Kommineni S. 2004)

### Reaktory s pístovým tokem - HiPOx

První možností je technologie HiPOx (vyvinuto APTwater, Inc). Technologie je aplikována komerčně, funguje na podobném principu dávkování, jako ostatní technologie peroxon procesu. Rozdíl je v tom, že oxidační činidla (peroxid vodíku a ozon) jsou do vody dodávána více vstříky. U klasických technologií je ke vpravení oxidantů do vody využito pouze jedno místo vstříku. Ozon dále probublává kontaktem za atmosférického tlaku. U systému HiPOx je využito více reakčních zón, které jsou zařazeny sériově za sebou (obr 16.). Každá reakční zóna sestává z dávkování ozonu (generován na místě z kapalného kyslíku) a peroxidu vodíku, za dávkováním následuje statický mísič, a na konci každé zóny je umístěn vzorkovač. Voda postupně protéká jednotlivými zónami. Při průtoku vody je možné měnit dávky ozonu a peroxidu vodíku podle potřeby. HiPOx systém využívá vyšší koncentrace dávkovaného ozonu (8 – 10 hmotnostních %) a vyšší provozní tlak (přibližně 240 – 310 kPa), což při spojení s více reakčními zónami vede k vysoké účinnosti technologie. (Speth F. T. a Swanson G. 2002).



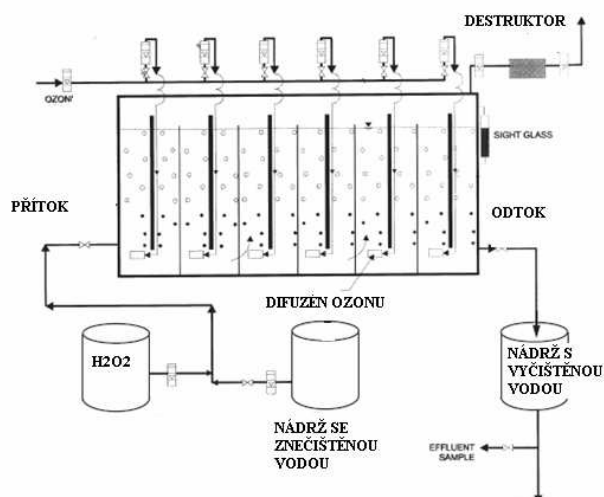
Obr. 16 Systém HiPOx reakční zóny  
(S.M. Henry a R.C. Bennett. 2001)



Obr. 17 Reaktor systému HiPOx  
(S.M. Henry a R.C. Bennett. 2001)

### Míchané nádrže

V klasických míchaných nádržích je ozon přiváděn do kontaktoru, kde probublává čistou vodou za atmosférického tlaku. U dna kontaktoru je vyšší koncentrace ozonu. Nádrž je uzavřená, a přebytečný plyn je odváděn do destrukturu. V systému jsou monitorovány koncentrace chemikálií, pH a další parametry. (Kommineni S. 2004)



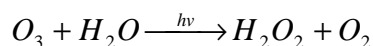
Obr. 18 Klasický systém míchané nádže (Kommineni S. 2004)

### 3.11 O<sub>3</sub>/UV – FOTOLÝZA OZONU

#### 3.11.1 Mechanismus reakce

Kombinace je velmi efektivní co se generace hydroxylového radikálu týká. Ve srovnání se samotnou ozonizací nebo s kombinací H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV (není součástí práce) je oxidační potenciál O<sub>3</sub>/UV vyšší. (Gottschalk Ch. at al. 2010)

Při reakci dochází k silné fotolýze ozonu. Ozon se rozpadá na peroxid vodíku a kyslík: (Gottschalk Ch. at al. 2010)



Při pH < 1,8 vznikne z 1 molu ozonu 1 mol peroxidu vodíku. Se zvyšující hodnotou pH se molární množství peroxidu snižuje.

V systému se nachází hned několik iniciátorů vzniku hydroxylových radikálů. Hydroxylové radikály mohou být generovány působením těchto 3 oxidantů:

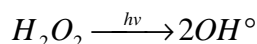
- UV – záření
- O<sub>3</sub>
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Z uvedeného plyne, že se může objevit kterýkoliv z rozkladných mechanismů, a to:

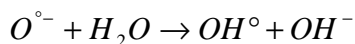
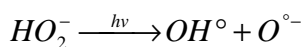
- přímé či nepřímé působení ozonu
- přímé působení H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – za normálních podmínek (pH = 5 – 10, normální teplota) zanedbatelné
- přímá fotolýza – pokud nečistující látky adsorbují UV záření s použitou vlnovou délkou
- Působení kombinace O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- Působení kombinace H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV

Reakční mechanismus H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV: (Gottschalk Ch. at al. 2010)

Přímá fotolýza  $H_2O_2$ :



Rozklad ionizované formy peroxidu (rovnice rozkladu peroxidu ve vodě) působením UV:



Řazení oxidantů dle oxidační síly: (Kommineni S. 2004)



**Výhody kombinace  $O_3/UV$ :** (Kommineni S. 2004)

- Vyšší účinek než samotné procesy  $O_3$  a UV
- Vyšší účinek než kombinace  $H_2O_2/UV$

**Nevýhody kombinace  $O_3/UV$ :** (Kommineni S. 2004)

- Energeticky náročnější a nákladnější než  $H_2O_2/UV$  a  $H_2O_2/O_3$ , kvůli nižší rozpustnosti  $O_3$  ve vodě než  $H_2O_2$ .
- Možnost potřeby čistit přebytečný ozon
- Kalnost vody může zhoršovat pronikání UV paprsků vodou, absorpce UV záření některými sloučeninami
- Plynný  $O_3$  musí být rozptýlený do vody

### 3.11.2 Prvky systému $O_3/UV$ : (SPARTAN E.T. 2011)

- UV lampa, pozdro, systém na čištění lampy
- Generátor ozonu, difuzor
- Zásobník  $O_2$ , Směšovací zařízení a kontraktor
- Destruktor ozonu
- Čerpadla, potrubí, čidla teploty a kontrolní systém

### 3.11.3 Popis systému

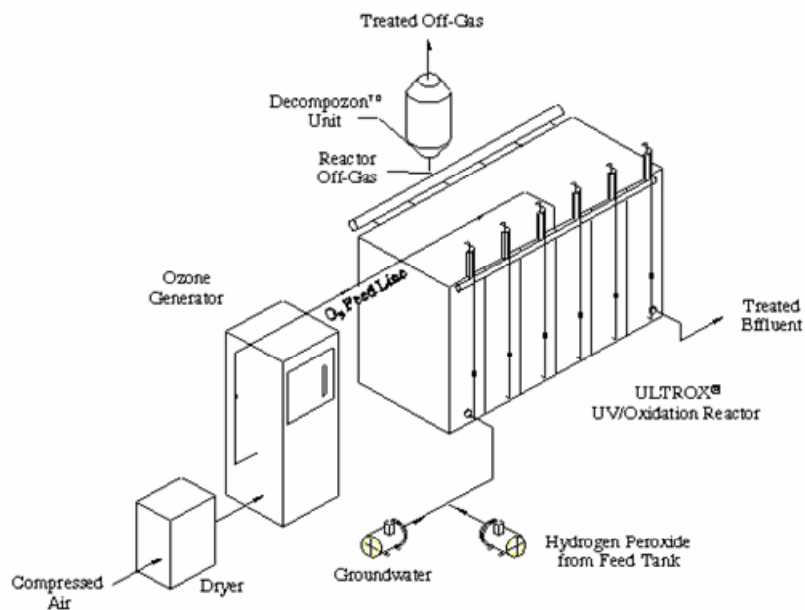
Systém  $O_3/UV$  je účinný při odstraňování řady polutantů avšak je velmi energeticky náročný a nákladný. Optimální poměr ozonu a UV záření závisí na složení čištěné vody. Působení je efektivní jen v případě důkladného rozpuštění ozonu v kapalině.

Dávka UV záření je energie UV záření na jednotku čištěné odpadní vody. Udává množství elektrické energie aplikované na jednotku objemu, často je uváděna v jednotkách  $[kWh/m^3]$ . (SPARTAN E.T. 2011)

UV lampa obsahuje automatický systém čištění. Tento systém je velmi užitečný v případech, kdy odpadní voda obsahuje látky, které by mohly zanášet UV lampu. Obal lampy je periodicky stírán pneumatickými stěrači. (Kommineni S. 2004) Průnik UV záření ovlivňuje zákald vody a některé látky adsorbující UV záření (Fe). Žádoucí je tedy vodu před aplikací UV záření předupravit a tyto látky odstranit. (SPARTAN E.T. 2011)

**Ultrox systém** (Ultraviolet radiation and oxidation)

Tento systém od U.S. FILTER/ZIMPRO, INC. Využívá UV záření, ozon a peroxid vodíku. Systém sestává z UV reaktoru, generátoru ozonu, destruktoru, kompresoru a dávkování peroxidu vodíku. Velikost reaktoru se odvíjí od průtoku čištěných odpadních vod, a od potřebné doby zdržení. Reaktor je rozdělen do několika komor, ve kterých jsou umístěny nízkotlaké UV lampy. V případě kombinace UV/O<sub>3</sub> je generovaný ozon přiváděn do UV reaktoru ke dnu každé komory nerezovým potrubím. V případě kombinace H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV je do odpadní vody nejdříve dávkován H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, poté je voda přivedena do UV reaktoru. (U.S. FILTER/ZIMPRO, INC. 2011)



Obr. 19 Systém Ultrox (U.S. FILTER/ZIMPRO, INC. 2011)



## **4. TEXTILNÍ PRŮMYSL A PRODUKCE ZNEČIŠTĚNÍ**

### **4.1 CHARAKTERISTIKA TEXTILNÍHO PRŮMYSLU Z HLEDISKA SPOTŘEBY VODY**

Textilní průmysl je jedním z největších odběratelů vody. Právě vysoká spotřeba vody (80 – 100 m<sup>3</sup>/tunu) a dále také vypouštěné znečištění z výroby ( 115 – 175 Kg CHSK/tunu hotové textilie) mají významný dopad na stav životního prostředí. (*Savin I., Butnaru R. 2008*) Voda je využívána v celé řadě technologických procesů. Pro výrobu kvalitního produktu je nezbytná i odpovídající kvalita použité procesní vody. Ta je odebírána z povrchových zásob (nádrže, řeky) či podzemních zásob a při výrobě je znečištěna řadou kontaminantů. Textilní výroba využívá některé rezistentní polutanty, které nejsou odbouratelné klasickými čistícími metodami. Odpadní voda má výrazný vliv na vodní útvary a okolní krajinu. Charakterizují ji vysoké hodnoty CHSK a BSK, pevné částice tvořící sedimenty, přítomnost toxických a karcinogenních znečištění a typické zabarvení, způsobené velmi rezistentními barvivy. Barviva způsobují zákal vody vedoucí k vyčerpání kyslíku, což má nepříznivý dopad na celý vodní ekosystém. (*World bank group. 1998*) Tímto způsobem dochází ke zhoršování kvality povrchových vod, a zároveň se neustále snižuje množství čisté vody využitelné pro komunální, zemědělské a průmyslové účely.

V současné době je aktuální přístup, spočívající v účinném čištění odpadních vod z textilního průmyslu a jejich znovuvyužití ve výrobních procesech, namísto vypouštění do vodních toků. Tento perspektivní přístup povede jednak ke snížení spotřeby vody (ekonomický přínos), a rovněž ke snížení vnosu průmyslového znečištění do povrchových vod (ekologická výzva). Znovuvyužití vod je také v souladu s evropskou směrnicí EC 61/96 O integrované prevenci, která vyžaduje změnu přístupu průmyslových podniků ve smyslu BAT (Best available technology) a definuje jako cíl snížit dopad průmyslové výroby na životní prostředí. (*EWA. 2005*).

K lepšímu pochopení a ucelenější představě jsou zařazeny kapitoly, uvádějící základní údaje o textilním průmyslu. Popsány jsou jednotlivé procesy a znečištění, které tyto procesy produkují.

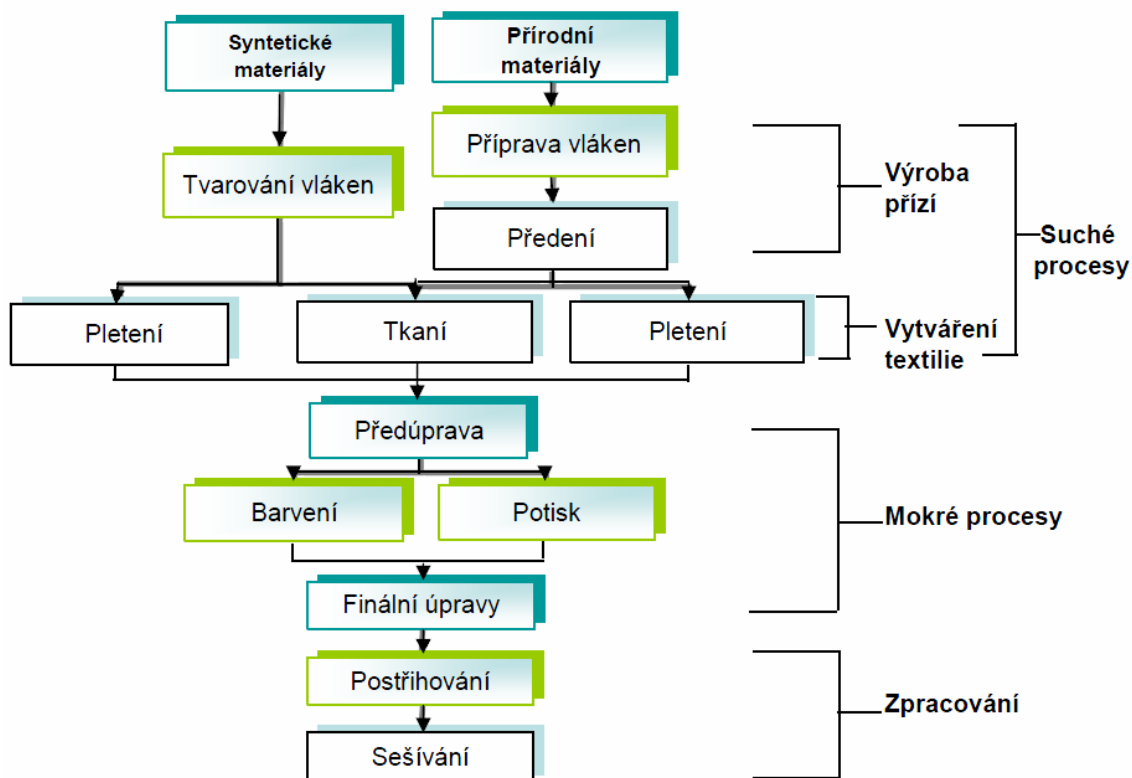
### **4.2 VÝROBNÍ PROCESY V TEXTILNÍM PRŮMYSLU**

Přírodní surový materiál nebo syntetický materiál prochází při přeměně na konečnou tkaninu řadou výrobních procesů. Předmětem textilního průmyslu je zpracování surových materiálů, tvorba vláken, výroba přízí, tkanin a hotových textilních výrobků. Výrobní schéma s vyznačením všech procesů je uvedeno na obr. 20. Procesní schémata se liší v případě výrobků pletených nebo tkaných. Rozdíly ve výrobě jsou také mezi vlákny různého původu - přírodní vlákna (rostlinná a živočišná vlákna- rozdíly ve výrobě - bavlna, vlna, len aj.) či v dnešní době značně rozšířená vlákna umělá. (*US EPA. 1997 b*)

## Procesy výroby:

- **Suché procesy** – mechanické procesy, které probíhají v nepřítomnosti vody
- **Mokrý procesy** – tzv. procesy „Zušlechťování“ – charakterizuje je velká spotřeba vody

Z hlediska znečištění textilních odpadních vod jsou samozřejmě nejdůležitější výrobní procesy využívající vodu. Do odpadních vod jsou však při mokrých procesech vnášeny i nečistoty z mechanického zpracování, proto bude pro úplnost zmíněn jak přehled mokrých, tak i suchých procesů s detailnějším popisem stěžejních částí.



Obr. 20 Schéma výrobních procesů v textilním průmyslu (US EPA, 1997 b)

## 4.2.1 Suché (mechanické) procesy

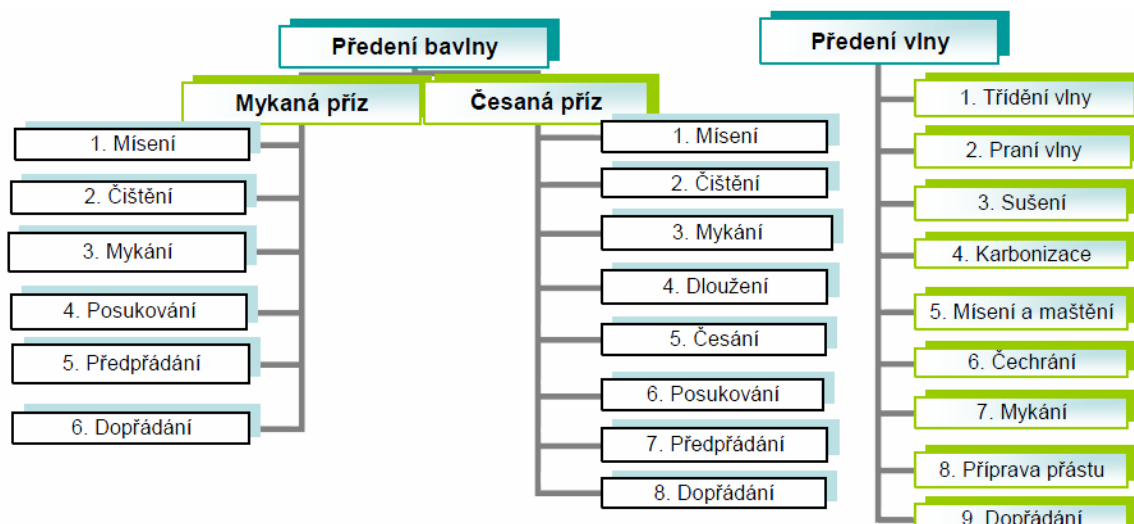
### 4.2.1.1 Výroba přízí

Jednotlivá vlákna jsou seskupována a zkrucována dohromady. Vlákna jsou zbavována nečistot, a jsou většinou spojována předením, kterému předchází řada procesů, které se odvíjí od typu vlákna (přírodní x umělá).

#### A. Přírodní materiály

Rozlišujeme:

- Předení bavlny – používané pro celulózová a syntetická vlákna a jejich směsi
- Předení vlny – čistá vlna, nebo směsi vlny a syntetických vláken



Obr. 21 Schéma procesů výroby přízí (US EPA. 1997 b)

## B. Umělá vlákna

Mezi přírodní vlákna patří celulózová (buničinová) vlákna jako viskóza a acetát, které se vyrábí reakcí chemikálií s buničinou, a dále syntetická vlákna, jako polyester a nylon, která se syntetizují z organických látek.

Jelikož umělá vlákna jsou vyráběna z organických látek, není při jejich zpracování potřebné čištění a česání. Zpracování těchto vláken spočívá v předání, které je podobné jako při výrobě hedvábí. Umělá vlákna jsou nejdříve dloužena, a poté mechanicky tvarována, aby se docílily vlastnosti podobné přírodním vláknům. (US EPA. 1997 b)

### 4.2.1.2 Vytváření textlie

#### A. Tkaní

Při tkaní se vytváří z jednotlivých vláken hotová textlie. Vlákna se dělí na osnovní niti, a útkové niti, které se provazují různými technikami. (US EPA. 1997 b)

##### a. Tkaní bavlny

Aby bavlněná vlákna při tkaní nebyla mechnicky poškozena, provádí se předem nanášení ochranných látek. Proces se označuje „šlichtování“.

##### Šlichtování

Na vlákna se nanášejí šlichty, které povrch vyhladí, a vytvoří na něm ochranný film. Šlichtovací prostředky ulpělé na vláknech vstupují do dalších procesů výroby. Je nutné provést tzv. odšlichtování. Odšlichtování spadá do mokrých procesů, šlichty tvoří významnou část znečištění odpadních vod (30 – 70 % ve stupni zušlechťování).

##### b. Tkaní vlny

U vlněných přízí se neprovádí šlichtování, a to z důvodu jejich dostatečné hladkosti (obsahují tuk z vlny). V některých případech se mastí oleji.

##### c. Tkaní syntetických vláken

Často se používá tkaní na tryskových stavech. Syntetická vlákna jsou dostatečně rubrikovaná, a nevyžadují vyhlazení povrchu formou šlichtování či aplikací olejů.

## B. Pletení

Povrch pletených přízí je předem upraven nanesením lubrikačních přípravků, či vosku (úprava pro pletení). Do procesu dále vstupují oleje používané pro mazání jehel pletacích strojů. (US EPA. 1997 b)

### 4.2.2 Mokrý procesy (zušlechťování)

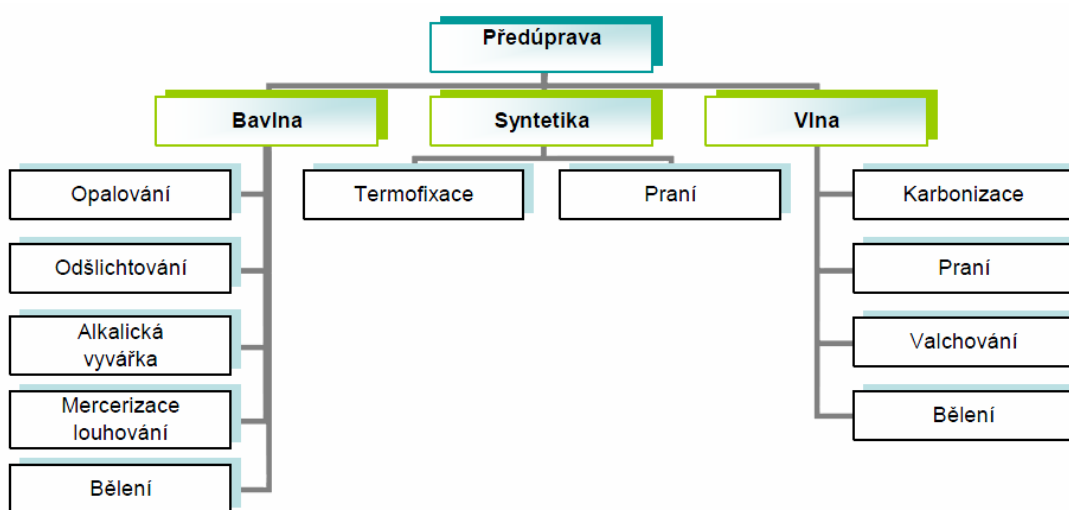
Vzniklá tkanina je pouze jakýmsi polotovarem. K zvýšení odolnosti, použitelnosti vzhledu, a k dosažení požadovaných vlastností materiálu, jsou velmi důležité „mokrý procesy“ (zušlechťování). Dělíme je do čtyř stádií – příprava materiálu, barvení, potisk a konečné úpravy (obr. 20). Při mokrých procesech je produkováno velké množství odpadní vody, která obsahuje celou řadu znečišťujících látek. (US EPA. 1997 b)

V posledních letech se zvyšuje zájem o ekologické technologie zušlechťování, především z důvodu globálního zhoršování kvality životního prostředí a ohrožení zásob povrchové vody. Hlavním cílem textilního průmyslu je zavádění metod, které mají menší dopad na kvalitu životního prostředí, používání bezpečnějších barviv a chemikálií a redukce nákladů na zneškodňování odpadních vod. (Chavan, R.B. 2001)

#### 4.2.2.1 Předúprava

Z materiálu jsou odstraňovány přirozené nečistoty, které by mohly negativně působit v procesu barvení, potisku a finálních úprav. Tyto nečistoty tvoří zemědělská rezidua, a chemické látky, které byly použity při úpravě v předchozích procesech. Ve stádiu přípravy materiálu je spotřeba vody nejvýraznější. (US EPA. 1997 b)

Předúprava zahrnuje řadu procesů, které jsou aplikovány podle druhu upravovaného materiálu a jeho vlastností (obr 22). U přípravy materiálu obsahuje vzniklá odpadní voda především vysoké hodnoty BSK<sub>5</sub>, CHSK, alkalitu, a menší množství kovů a tenzidů. (US EPA. 1997 b)



Obr. 22 Schéma procesů předúpravy vláken (Inotex spol. s r.o., r.neznámý)

<b>Odšlichtování</b>	<p>Jedná se o proces, při kterém dochází k odstranění šlichtovacích přípravků. Pokud by se škroby před praním neodstranily, mohly by způsobovat změny zabarvení.</p> <p><b>Škrobové šlichty</b> – jsou nerozpustné, je nutné je degradovat na rozpustné sloučeniny. K přeměně se používají enzymy. Šlichty nelze znovu použít v procesu</p> <p><b>Syntetické šlichty</b> – odstraňují se praním horkou vodou s přídavkem sody. Je možné je znovu využít v procesu.</p>
<b>Vyvářka / praní</b>	<p>Praní odstraňuje z vláken nečistoty přirozeného původu, a látky zachycené v předchozích procesech textilní výroby – zbytky šlicht, tuky a vosky, soli (Ca, Mg, Al, Fe) a jiné.</p> <p>K praní se používají horké alkalické roztoky (NaOH), které obsahují tenzidy, dispergační a redukční činidla.</p>
<b>Bělení</b>	<p>Při bělení je odstraňováno nežádoucí zabarvení z vláken. Odbarvuje také barevné znečištění, které se neodstraní praním, a připravuje látku na barvení a potisk. Použitý bělicí přípravek závisí na typu vlákna. Nejčastěji používané jsou peroxid vodíku, chlorid sodný, chlornan sodný a oxid siřičitý. (<i>Inotex spol. s r.o., r.neznámý</i>)</p>

#### 4.2.2.2 Barvení

Právě proces barvení je producentem velkého množství znečištění, které je velmi rezistentní. Jedná se především o použitá barviva a soli. Zabarvení odpadní vody z barvení textilií je jedním ze zásadních problémů, které je třeba řešit.

K barvení textilií se používají různá barviva a metody barvení. (*US EPA. 1997 b*)

##### Podle původu rozlišujeme dvě skupiny barviv:

- Přírodní barviva – získávána z minerálů, extrahována z rostlin či živočišných produktů
- Syntetická barviva – odvozena z černouhelného dehtu a ropných produktů, podle chemického složení se dělí do několika skupin (kapitola znečišťující látky). V dnešní době jsou nejpoužívanější, s koncentrací aktivní látky 20 – 80 % (*Textile exchange. 2011*)

Proces barvení může být zahrnut v lince textilní továrny, nebo probíhá ve speciálních barevnách. Při barvení je spotřebováno velké množství barviv a jiných chemikálií, obzvláště solí. Spotřeba barviva se v každém procesu liší. Závisí na barvicím poměru, tj. množství barviva, které je potřebné na obarvení jednotky hmotnosti látky (v rozmezí 5 – 50).

Barvení může probíhat v různých fázích procesu textilní výroby: (*Inotex spol. s r.o., r.neznámý*)

- Barvení ve vložce (volného materiálu)
- Barvení česaného materiálu

- Barvení vláken (stock dyeing – barvení volného materiálu)
- Barvení příze (yarn dyeing)
- Barvení tkaniny a pleteniny
- barvení konečných výrobků (piece dyeing).

**Průběh barvení:** (US EPA. 1997 b)

- Kontinuální (nepřetržité)
- semi- kontinuální
- diskontinuální

**A. Nepřetržité(kontinuální) a polokontinuální barvení**

Textilie je postupně přidávána do barvicího procesu, rychlostí 50 – 250 m/min. Linka pro barvení sestává z několika dílčích částí, a to fuláru, sušičky, pařáku, pracího stroje a sušičky. Průběh procesu: (US EPA. 1997 b)

- aplikace barviva – probíhá na fuláru, kde je barvivo naimpregnováno do textilie (klocování)
- fixace barviva působením teploty nebo chemikálií – vyšší míra fixace oproti diskontinuálnímu praní
- závěrečného praní



**Obr. 23** Kontinuální barvicí stroj  
(Montforts Fongs. 2011)



**Obr. 24** Diskontinuální barvicí aparát

**B. Diskontinuální (přetržitý) způsob barvení látek**

Je používán ve většině případů. U této metody je do barvířského stroje vloženo jen určité množství barvené látky (100 – 1000 Kg). Látka je umístěna přímo do barvicí lázně. Materiály jako bavlna, viskóza, nylon a vlna jsou dobře barvitelné při teplotách 100 C a nižších. Polyester, a některé další syntetické látky, jsou lépe barvitelné při teplotách nad 100 C. Při samotném barvení je textilie uvedena do rovnováhy s roztokem barviva. Molekuly barviva postupně přilnou k textilií. Rychlost a efektivita procesu závisí na použitých chemikáliích, a na podmínkách barvení, ke kterým patří především teplota. Tyto zajišťují fixaci barviva na textilií. Obarvená textilie prochází následně praním, které má za úkol odstranit neulpělé barvivo a chemikálie (US EPA. 1997 b).

#### 4.2.2.3 Textilní tisk

Potiskování je jednou z alternativ úpravy vzniklé tkaniny. Rozdíl oproti barvení spočívá v tom, že barva není nanесena na celý povrch látky, ale jen na určitá místa. Výsledkem je tak vytvoření vzoru. Ve srovnání s barvením je na látku nanášeno i více různých barev. (US EPA. 1997 b)

Jak je uvedeno v (Inotex spol. s r.o., r.neznámý), rozlišujeme různé metody potisku:

- přímý tisk – barvivo se nanáší na textilií přímo do míst, kde má být fixováno
- leptový tisk – na předem obarvenou tkaninu se nanáší pasta obsahující činidlo rozkládající fixované barvivo a dochází k lokálnímu odbarvení
- rezervní tisk – na neobarvenou textilií se nanáší činidlo lokálně bránící vytahování barviva, textilie se následně obarví

#### Tisk barvivy – tiskařské pasty

Barvivo se při tisku nanáší ve formě tiskařské pasty. Pasta musí obsahovat barviva, a také zahušťovadla - látky umožňující fixaci barviv. Díky zahušťovadlům jsou pasty viskózní, a nerozpíjí se. Jako zahušťovadla se používají polysacharidy (škrob), karboxymethylceluloza, polyakryláty, polyvinylalkohol, minerální oleje a vyšší uhlovodíky (lakový benzin). Přebytky těchto látek jsou vypírány do odpadních vod (mohou tvořit 40 – 60 % původního množství). (Inotex spol. s r.o., r.neznámý)

Postup textilního potisku: (Inotex spol. s r.o., r.neznámý)

- Příprava „tiskací pasty“ – zahrnuje mísení barviv se zahušťovadly a jinými přísadami
- Nanесení pasty na textilií – nanášení probíhá metodami popsanými výše
- Fixace barviv – stejně jako při barvení je potřeba nanесené barvivo fixovat, a to působením horkého vzduchu či páry
- Dodatečné zpracování – z textilií se vypírají přebytečná množství barviv a chemikálií

#### Tisk Pigmenty

K potisku jsou z velké části využívány pigmenty, po jejichž aplikaci není prováděno praní. Pigmenty na rozdíl od barviv nemají afinitu ke tkaninám, a jsou nerozpustné. K přichycení pigmentů na tkaniny se používají pryskyřičná pojiva, a jako nosiče těchto pojiv a pigmentů se používají rozpouštědla. Organická rozpouštědla se následně odpaří, a zanechají pouze krycí vrstvu (US EPA. 1997 b). Jako zahušťovadlo u pigmentového tisku se dnes využívá lakový benzin. Vedle nich je možné použít zahušťovadla na bázi akrylátů či polyethylenglykolu. Při použití těchto jsou emise organických rozpouštědel nižší. Používaná fixační činidla jsou založená na polymeraci močoviny a metylolderivátů melaminu. Při polymeraci vzniká formaldehyd a alkohol. (Inotex spol. s r.o., r.neznámý)

V pigmentech jsou obsaženy těžké kovy, buď jako součást molekuly, nebo jako nečistota z výroby.

#### 4.2.2.4 Finální úpravy

Finální úpravy tvoří závěr výrobního procesu, dodávají textiliím požadované vlastnosti. Provádí se mechanickými a chemickými operacemi. Mezi finální úpravy patří například zajištění nehořlavosti, nemačkavosti, měkčení, biocidní úpravy a jiné. (US EPA. 1997 b)

Při finálních úpravách jsou na obarvenou či potištěnou textilií nanášeny napouštěním chemikálií z vodného roztoku nebo suspenze. Přebytek roztoku se z textilie vymáčkne a zasuší, nebo zafixuje. Praní se většinou neprovádí.

### 4.3 ODPADNÍ VODY TP A JEJICH ZNEČIŠTĚNÍ

Voda v textilním průmyslu slouží jako rozpouštědlo pro aplikaci chemikálií na textilií a jako oplachové médium. Odpadní voda v textilním průmyslu je charakteristická jednak velkými objemy, jednak řadou specifických polutantů, pocházejících z různých procesů textilní výroby. Mechanické (suché) procesy nevedou k produkci odpadní vody, ale vzniká při nich znečištění, které se posléze v mokřých procesech do odpadní vody uvolní. Odpadní vody tedy pochází z procesů mokřých, tj. z přípravy materiálů, barvení, potisku a finálních úprav. Nejvyšší množství vod pochází z praní, které je aplikováno za většinou mokřých procesů. Následující kapitola uvádí stručnou charakteristiku textilních odpadních vod jako celku. V další části je uveden přehled významných kontaminantů, rozčleněných podle procesu, ze kterého pocházejí.

Znečištění v textilních odpadních vodách pochází ze dvou zdrojů. Prvním jsou přirozené nečistoty obsažené přímo v surovém materiálu (mastnota, organické a minerální částice). Druhým zdrojem znečištění jsou prostředky a chemikálie, které se běžně používají při textilní výrobě. (UNEP IE. 1994)

Obecně jsou textilní vody charakterizovány jako šedě zabarvené, mající vysoké hodnoty BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>, suspendovaných látek, s vysokou teplotou a vysokým pH. Typický je rovněž obsah rezistentních látek, a látek vykazujících toxicitu, nebo se rozkládajících na toxické meziprodukty. Jedná se například o barviva, AOX, soli (Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> aj.), těžké kovy a další. Problémovými látkami jsou tedy především barviva, nerozpuštěné látky, toxické kovy (obsažené jako nečistoty v materiálu, nebo jako součást barviv) a zbytkový chlor. (UNEP IE. 1994)

Tab. 8 Typické hodnoty znečištění textilní odpadní vody (Kalra S. S. 2011)

BSK	CHSK	pH	T	TSS	TDS	Nc	Barva
mg/l	mg/l	-	°C	mg/l	mg/l	mg/l	Pt-Co
100 - 4000	150 - 10000	6 - 10	35 - 45	100 - 5000	1800 - 6000	70 - 80	50 - 2500

Tab. 9 Charakteristika textilních odpadních vod dle materiálu (Das S. rok neznámý)

Parametr	Bavlna	Syntetika	Vlna
pH	8 - 12	7 - 9	3 - 10
BSK <sub>5</sub> (mg/l)	150 - 750	150 - 200	5000 - 8000
CHSK (mg/l)	200 - 2400	400 - 650	10 000 - 20000
TDS (mg/l)	2100 - 7700	1060 - 1080	10 000 - 13 000



Textilní odpadní vody vykazují nízký poměr BSK/CHSK, což značí vysokou míru nebiodegradabilního znečištění. Hodnoty se pohybují v rozmezí 1 : 3 až 1:4. (*Marmagne O. a Coste C. 1996*)

Podle hodnoty  $CHSK_{Cr}$  a zabarvení dělíme odpadní vodu z textilního průmyslu do 3 kategorií. (*Tekoglu O. a Özdemir C. 2010*)

**Tab. 10 Dělení textilních odpadních vod dle znečištění (Tekoglu O. a Özdemir C. 2010)**

Typ	BSK	CHSK <sub>Cr</sub>	pH	T	Oleje
	mg/l	mg/l		°C	mg/l
velmi silně znečištěné	500	> 1500	10	28	50
Středně znečištěné	270	800 - 1500	9	28	21
Mírně znečištěné	100	< 800	10	31	10

Odpadní vody z jednotlivých procesů textilní výroby se značně liší, v závislosti na používaných chemikáliích a jejich množstvích. Liší se také odpadní vody z výroby různých druhů textilií (bavlna, vlna, syntetika). V následujícím textu je uveden stručný přehled polutantů pocházejících z různých stupňů výrobního procesu. Popsány jsou různé úkony mokřých procesů.

### 4.3.1 Produkce odpadů při Zušlechťování

#### 4.3.1.1 Odšlichtování

Odpadní voda: odstraněné šlichty ( škrobové šlichty se rozkládají, syntetická nemění strukturu) – šlichtovací prostředky tvoří 30 – 70 % organického znečištění odpadních vod při zušlechťování.

    Přísady ve šlichtovacích prostředcích (konzervační činidla aj.)

    Lubrikační látky, oleje (*Inotex spol. s r.o. rok neznámý*)

#### 4.3.1.2 Vyvářka / praní

Odpadní voda: BSK z procesu přípravy - vyvářka je s odšlichtováním největším zdrojem

    Zbytky šlicht, tuky, vosky

    Soli (Mg, Fe, Al, Ca) – velký zdroj zasolení OV

    NaOH( alkalita OV), tenzory, komplexotvorná, redukční a dispergační činidla z lázně (*Inotex spol. s r.o. rok neznámý*)

#### 4.3.1.3 Bělení

Odpadní vody: použité bělicí činidlo (v závislosti na materiálu textilie – tab. 11)

    Doprovodné látky, popř. vedlejší produkty: AOX, vysoké pH, stabilizátory (křemičitan sodný), těžké kovy mobilizované komplexotvornými látkami

**Tab. 11 Příslady používané při bělení (*Inotex spol. s r.o. rok neznámý*)**

<b>Materiál</b>	<b>Bělící činidlo</b>	<b>Doprovodné chemikálie</b>	<b>Vedlejší produkty</b>
Bavlna	NaClO		AOX (1)
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Alkalické prostředí, Stabilizátory peroxidu, komplexotvorná činidla, tenzory (2)	Komplex. Činidla mobilizují těžké kovy (3)
Vlna	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-2	-3
	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Následuje po H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
Len	NaClO		-1
	NaClO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Kyselé prostředí NaNO <sub>3</sub>	AOX
Polyester	NaClO		-1

#### 4.3.1.4 Barvení

Při barvení vzniká největší množství odpadní vody o různé koncentraci znečištění. Jedná se o odpadní vody z barvicí lázně a následují velké objemy používané při praní obarvené textilie. Odpadní vody z barvicí lázně a prvních praní jsou silně zabarvené, mají vysoké koncentrace solí a organického znečištění. Při posledním praní odtéká už téměř čistá voda. Spotřeba chemikálií a barviv je vysoká. Například při barvení 1 Kg bavlny reaktivními barvivy je spotřeba 0,6 – 0,8 Kg NaCl, 30 – 60 g barviva a 70 – 150 l vody. (*Allegre, C. at al. 2006*)

Znečišťující látky v procesu barvení: (*Aquafit4use. 2010*)

- Vlastní barviva
- Nečistoty z vláken
- Chemikálie (zásady, soli, oxidační a redukční činidla)

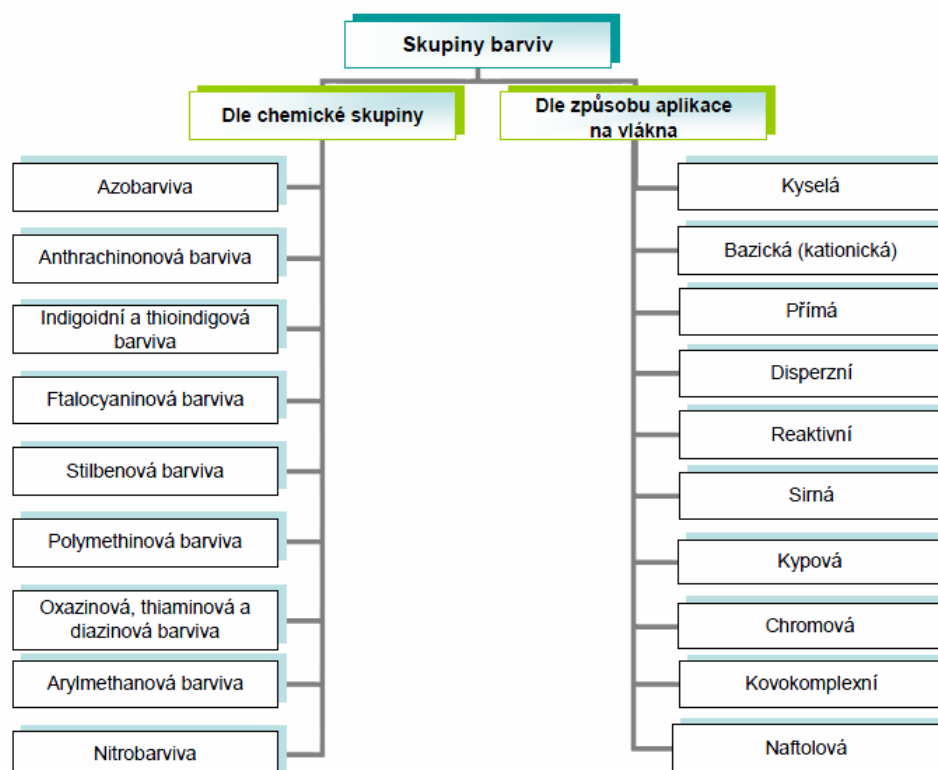
Odpadní vody z barvení obsahují velké koncentrace barviv, která neulpí při barvení na látku. Například při barvení reaktivními barvivy zůstává 20 – 30 % dávky barviva nespotřebováno a odvádí se v odpadní vodě (*Allegre, C. at al. 2006*).

Moderní barviva jsou látky vysoce stabilní a rezistentní, je tedy obtížné je z odpadní vody odstranit. Na trhu je k dispozici přes 100 000 komerčně vyráběných barviv. Většina používaných barviv není biodegradabilních (uvádí se, že 47 % z používaných barviv má nízkou biodegradabilitu). (*Kalra S. S. at al. 2011*) K propagaci opatrného zacházení vydala ETAD (Ecological and toxicological association of dyes and organic pigments manufacturers) metodický pokyn pro nakládání s barvivy.

Nejčastěji skupinou jsou v dnešní době barviva umělá. Lze je rozdělit podle několika kritérií (Tab. 12).

Z hlediska vlastního barvicího procesu je důležité rozdělení barviv podle způsobu aplikace. Jednotlivé kategorie mají různé fyzikální a chemické vlastnosti, jsou vhodné pro aplikaci na různé druhy materiálů, a co je z hlediska čištění odpadních vod důležité – liší se svou rezistencí vůči rozličným čistírenským procesům.

**Tab. 12 Rozdělení barviv dle chemické skupiny a způsobu aplikace (*Inotex spol. s r.o. rok neznámý*)**



Každá tato skupina barviv je charakterizována indexem barvy (color index – C.I.). Colour index vydává Americká asociace The society of dyers and colorists. Je to přehled všech komerčních barviv, jejich vlastností a složení rozdělených do skupin. Každému barvivu je přiřazeno indexové číslo C.I. (*Society of dyers and colourist [online]*)

Z chemického hlediska obsahuje velký podíl dnes používaných barviv azo skupinu ( $-N=N-$ ). Azo barviva, která uniknou do vodního prostředí, mají výrazný vliv na akvatickou kulturu, protože produkty jejich degradace jsou aromatické aminy, které patří mezi karcinogeny. Řada studií prokázala, že azo barviva nejsou náchylná k aerobnímu biologickému rozkladu. Odstranění těchto barviv se provádí chemickou koagulací, flotací vzduchem či adsorpcí. Tyto metody převádí znečištění z jedné fáze do jiné, ale nevedou k redukci toxicity. Poměrně velký potenciál pro řešení tohoto problému mají AOP procesy. (*Allegre, C. at al. 2006*)

Barviva mohou obsahovat řadu nežádoucích látek:

- Vázaný chlor – pokud je součástí reaktivní skupiny, při barvení hydrolyzuje
- Těžké kovy – Cu, Cr, Ni - mohou být součástí molekuly, nebo nečistoty z výroby

Široká škála pomocných přípravků a chemikálií, přidávaných do barvicí lázně, slouží pouze k zefektivnění procesu barvení a jejich celé množství se tedy dostává do odpadních vod. Následující tabulka uvádí stručné charakteristiky textilních barviv a lázní.

Podrobněji jsou posána reaktivní barviva z důvodu jejich výskytu v odpadních vodách, pro které je navrhováno znovuvyužití.

Tab. 13 Charakteristiky barviv používaných v textilním průmyslu (US EPA, 1996)

Skupina barviv	Popis	Aplikováno na:	Fixace (%)	Charakteristické znečištění barvicí lázně
Kyselá	Ve vodě rozpustné, aniontové látky	Vlna Nylon	80 - 93	Zabarvení, organické kyseliny, nefixované barvivo
Bazická	ve vodě rozpustné, aplikované ve slabě kyselé lázni, jasné odstíny	Akryl Polyester	97 - 98	Zabarvení, organické kyseliny, nefixované barvivo
Přímá	ve vodě rozpustné, aniontové látky, mohou být aplikovány přímo na celulózu bez přísady močidel	bavlna umělé hedvábí jiné celulózní materiály	70 - 95	Zabarvení, soli, nefixovaná barviva, cationtové fixační sloučeniny, tenzidy, zpomalovací činidla, apretace, rozpouštědla
Dispersní	ve vodě nerozpustné	Polyester Acetát syntetika	80 - 92	Zabarvení, organické kyseliny, nosiče, vyrovnávací činidla, fosfáty, lubrikanty, dispersní činidla
Reaktivní	ve vodě rozpustné, aniontové látky, nejhojněji používané	Bavlna vlna	60 - 90	Zabarvení, alkalita, oxidační činidla, redukční činidla, nefixované barvivo
Sírná	Organické sloučeniny obsahující síru nebo Na <sub>2</sub> S	Bavlna Ostatní celulóza	60 - 70	Zabarvení, alkalita, oxidační činidla, redukční činidla, nefixované barvivo
Kypová	ve vodě nerozpustná, nejstarší skupina	Bavlna Ostatní celulóza	80 - 95	Zabarvení, alkalita, oxidační činidla, redukční činidla, nefixované barvivo

## **Reaktivní barviva** (*Allegre, C. at al. 2006*)

- Vlastnosti:**
- Některá barviva vysoce toxická a karcinogenní
  - Reaktivní skupina obsahuje vázaný Cl (při barvení hydrolyzuje)
  - Některá barviva vázaný kov (Cu, Cr, Co, Ni)

**Stupeň využití:** 60 - 90 %

### **Charakteristika lázně a odpadní vody:**

- Hydrolyzovaná reaktivní barviva nefixovaná na textilií (20 – 30 %) vysoce zabarvené OV – nízký stupeň využití
- Textilní vlákna
- alkálie – silně alkalické OV (pH 10 – 11)
- Vysoká teplota (50 – 70 °C)
- neutrální sůl – pro zvýšení výtěžnosti barviva ( $c = 10 - 100 \text{ g/l}$ ) – OV silně zasolené

### **4.3.1.5 Potisk**

Při textilním tisku je spotřebováno velké množství vody. Voda se využívá pro praní textilií po tisku, pro mytí a oplachování strojů. První vody jsou vždy silně znečištěné, na konci mytí jsou téměř čisté.

Převážnou část znečištění tvoří tiskařské pasty, sestávající z barviv, zahušťovadel, a dalších nezbytných přísad. Zbytky tiskacích past mohou tvořit 40 – 60 % vneseného množství. Řadí se mezi nebezpečné odpady. Ve většině případů se vypouštějí do odpadních vod, kde zvyšují organické znečištění. (*Inotex spol. s r.o. rok neznámý*)

Nečišťující látky: (*Inotex spol. s r.o. rok neznámý*)

- Přebytková nefixovaná barviva
- Močovina

Používá se při tisku reaktivními barvivy, a v menších koncentracích při tisku kypovými barvivy. Močovina při teplotách nad 100 °C váže vodu, a používá se jako rozpouštědlo barviv. Močovina zlepšuje přestup barviva z pasty na textilií, rozkládá se na amoniak, a jeho zbytky se dostávají do odpadní vody.

- Zahušťovadla

Používají se polysacharidy (škrob), karboxymethylceluloza, polyakryláty, polyvinylalkohol, minerální oleje a vyšší uhlovodíky (lakový benzin - pigmenty). Těkavé přecházejí zcela do odpadních plynů, hlavní podíl se vypírá do odpadních vod.

- Pojidla při tisku pigmentem
- Těžké kovy znečišťující pigmenty

## 4.4 SPOTŘEBA VODY A JEJÍ POŽADOVANÁ KVALITA

### 4.4.1 Spotřeba vody

Spotřeba vody se liší u jednotlivých procesů, a je závislá také na typu zpracovávaného materiálu. Následující tabulka uvádí orientační spotřebu vody v jednotlivých procesech textilní výroby.

**Tab. 14 Spotřeba vody pro jednotlivé materiály a procesy výroby**  
(*Aquafit4use. 2010*)

Materiál	Proces	Spotřeba vody (l/Kg)
Bavlna	Odšlichtování	3 - 9
	Praní	26 - 43
	Bělení	3 - 124
	Mercerizace	232 - 308
	Barvení	8 - 300
Vlna	Praní vlny	46 - 100
	Barvení	16 - 22
	Praní	334 - 835
	Neutralizace	104 - 131
	Bělení	3 - 22
Nylon	Praní	50 - 67
	Barvení	17 - 33
Polyester	Praní	25 - 42
	Barvení	17 - 33
	Praní závěrečné	17 - 33
Viskóza	Praní a barvení	17 - 33
	Slaná lázeň	4 - 13

### 4.4.2 Požadavky na jakost procesní vody

Z hlediska požadované kvality dělíme vodu v textilním průmyslu do 3 kategorií:  
(*Aquafit4use. 2010*)

**Voda vysoké kvality** Je možné ji využít ve všech procesech textilní výroby. Z celkové spotřeby vody tvoří 10 – 20 %.

**Voda mírné kvality** Používá se jako voda oplachová po praní, bělení, barvení a finálních úpravách. Z celkové spotřeby tvoří asi 50 – 70 %.

**Voda nízké kvality** Slouží k mytí strojů, zařízení, nádob na chemikálie apod. Její spotřeba tvoří 10 – 20 % celkové spotřeby.

V textilním průmyslu se používá voda pitná, dále může být používána voda *provozní a užitková*.

Pitná voda musí vyhovovat předepsaným zdravotnickým a technickým požadavkům. Zejména nesmí obsahovat takové organismy a látky, které mají nebo by mohly mít nepříznivý vliv na zdraví člověka. Jakost vody je normalizována.

Užitková voda je taková, která vyhovuje zdravotním a technickým požadavkům, ale nepoužívá se jako voda pitná.

Provozní voda (technologická) je v podstatě voda užitková, která slouží k průmyslovým účelům. Jakost provozní vody se řídí požadavky výroby a je normalizována. (*E-L TEX. [online]*)

Voda pro použití v textilní výrobě pochází z vodovodní sítě, povrchových nebo podzemních zdrojů. U vody z textilního průmyslu je důležitá její vysoká kvalita. Požadavky na provozní vodu jsou v textilním průmyslu u některých ukazatelů přísnější než požadavky na vodu pitnou v ČR (jedná se o Fe, Mn a humnových látek). (*Kopáček J. rok neznámý*) Je žádoucí, aby se nejednalo o vodu tvrdou. Tvrdá voda obsahuje vysoké koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Surové vody obsahují řadu přirozených a umělých solí ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ). Většinu surových vod je tedy nutné upravovat změkčením. (*Aquafit4use. 2010*)

Tvrdost se udává v (mval/l) nebo v „německých stupních“ s označením ( $^{\circ}\text{dH}$ ) nebo ( $^{\circ}\text{N}$ ). (*AB klimatizace. 1997*)

Ionty ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) reagují s mýdly (soli vyšších mastných kyselin) za vzniku sraženin, a znemožňují tak jejich použití. Tvrdá voda je nevhodná z několika důvodů (tab. 14)

Tab. 15 Nežádoucí vliv tvrdosti vody na jednotlivé procesy (*Aquafit4use. 2010*)

Proces	Nežádoucí efekt
Odšlichtování	Deaktivace enzymů, převedení některých šlichtových látek do nerozpustné formy (škroby)
Praní	reakce s mýdly, srážení organických kovových kyselin, snížení čistící schopnosti a absorpce vody
Bělení	rozklad bělicích roztiků
Mercerizace	tvorba nerozpustných oxidů kovů, reakce s barvivý - srážení, snížení difuze barviv
Barvení	Při vysoké tvrdosti - nerovnoměrné obarvení
Finální úpravy	tvorba nerozpustných oxidů kovů, změna povahy barviv - stávají se nerozpustnými, nerovnoměrné obarvení, snížení difuze barviv

Vedle tvrdosti vody je důležitým parametrem pH, obsah solí(chloridů, síranů), železa a manganu a zabarvení. Pro využití v textilním průmyslu je důležitý nízký zákal a zabarvení. Tyto parametry by mohly nežádoucím způsobem ovlivnit procesy barvení a finálních úprav. Zabarvení způsobené organickými složkami může vázat chlor a snižuje účinnost chloru jako bělicího prostředku. Obsah železitých solí může působit v procesu negativně z několika důvodů. V procesu bělení a praní způsobují žluté zbarvení bílých textilií. V procesu bělení mohou ionty těžkých kovů urychlovat rozpad bělicího činidla. V procesu barvení mohou ionty železo zreagovat s molekulami barviva a dochází tak ke ztlumení a změně odstínu. (*Sengupta B. 2007*)

Každý z procesů textilní výroby má jiné požadavky na kvalitu procesní vody. Rozdíly jsou samozřejmě patrné i mezi výrobkami zpracovávajícími různé druhy materiálů. Tab. 15 Uvádí příklad požadované kvality vody v procesu barvení a v průběhu finálních úprav (tab. 16). Při návrhu znovuvyužití čištěné vody je důležité vycházet z požadavků konkrétního řešeného podniku a jeho procesů.



**Tab. 16 Parametry vody použitelné pro proces barvení (AquaFit4use. 2010)**

Parametr	Proces barvení	Jednotka
pH	7 ( $\pm 0,5$ )	ppm CaCO <sub>3</sub>
tvrdost	50	mg/l
Fe	0,05	mg/l
Cu	0,05	mg/l
Cl	300	mg/l

**Tab. 17 Parametry vody použitelné v procesu finálních úprav (AquaFit4use. 2010)**

Parametr	Finální úpravy	Jednotka
tvrdost	5	
organické zatížení	20	mg/l
Fe	0,1	mg/l
Mn	0,05	mg/l
Cu	0,01	mg/l
Dusičnany	50	mg/l
Dusitany	5	mg/l
pH	6-8	
Barva	0	

## 4.5 TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ OV Z TEXTILNÍHO PRŮMYSLU

Snahou při čištění textilních odpadních vod je vnos co nejnižšího koncového znečištění do vodních toků. Se zpřísňující se legislativou, vztahující se ke kvalitě vypouštěných odpadních vod, roste také pozornost věnovaná jejich čištění. Do praxe tak přichází řada moderních intenzivních procesů, které při správné aplikaci dosahují výborných výsledků na odtoku. V ČR udává přípustné znečištění na odtoku z čistírny Nařízení vlády 23/2011 Sb. (tab. 17), kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.

**Tab. 18 Přípustné hodnoty znečištění čištěných vod z TP vypouštěných do vod Povrchových (NV 23/2011)**

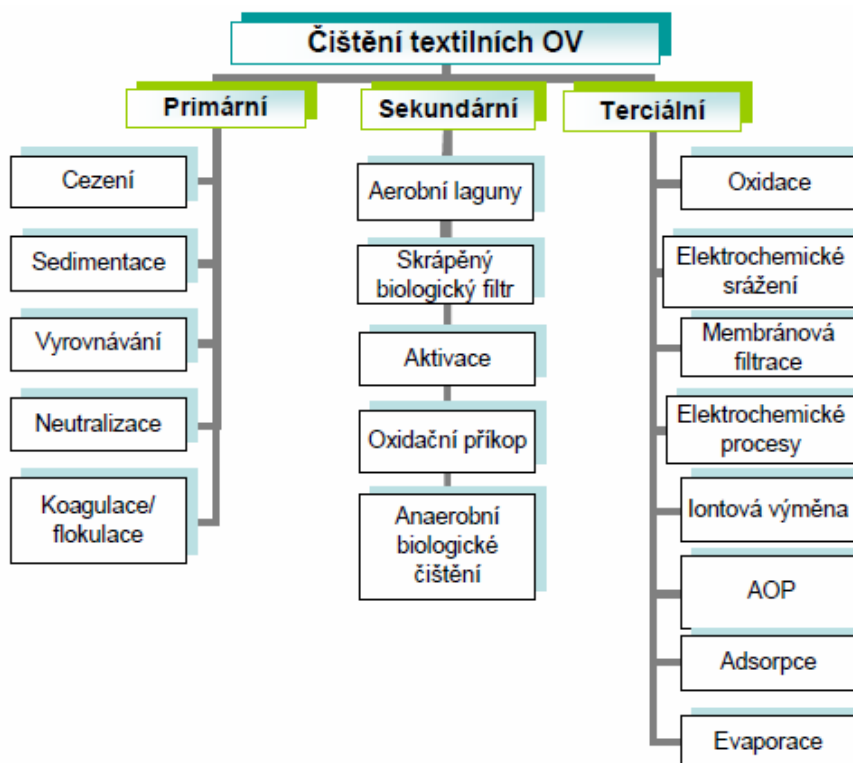
Výroba textilií a textilních výrobků		
NL	mg/l	40
CHSK <sub>Cr</sub>	mg/l	300
BSK <sub>5</sub>	mg/l	50
C10 - C40	mg/l	5
RAS	mg/l	2000
Chrom	mg/l	0,5
Měď	mg/l	0,5
Nikl	mg/l	0,5
Zinek	mg/l	3
Železo	mg/l	3
AOX	mg/l	3



Každý textilní proces a jeho odpadní vody je specifický a čištění vyžaduje individuální přístup. Neexistuje jednotná metoda, kterou by bylo možné aplikovat na jakýkoliv odtok z textilní výroby.

Odpadní vody z textilní výroby je možné čistit na vlastní čistírně odpadních vod, náležící k podniku, nebo odpadní vody vypouštět do kanalizace. V první alternativě je důležité, aby voda na odtoku z čistírny dosahovala předepsaných hodnot (tab.). V případě vypouštění OV do kanalizace stanoví kanalizační řád přípustné hodnoty vypouštěného znečištění. Textilní podnik je nucen odpadní vody před vypuštěním do kanalizace předčistit. Ve většině případů se tak děje mechanickým předčištěním spojeným s chemickým srážením, které vede k odbourání největšího podílu znečištění a připraví tak OV vhodnou k biologickému čištění na městské ČOV. V ČR převládá druhá alternativa, tedy předčištění OV v podniku a odvod kanalizací na centrální komunální ČOV.

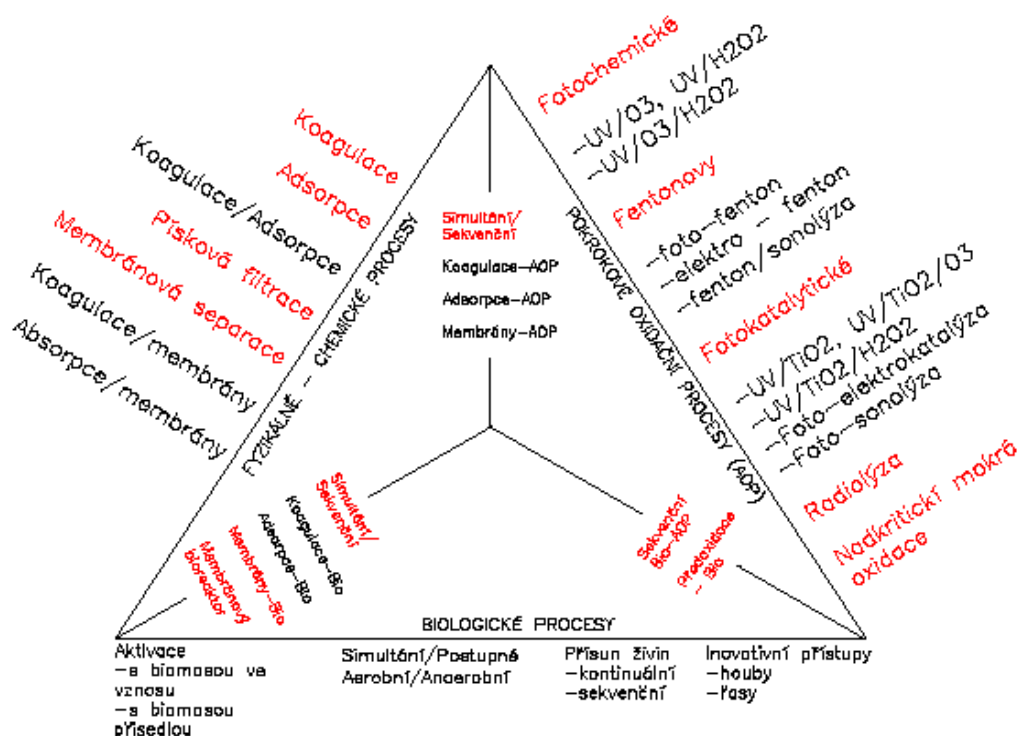
Konvenční průmyslová ČOV pro čištění OV z TP sestává z fyzikálně – chemických procesů a aerobního biologického čištění. Samotné fyzikálně – chemické procesy čištění nevedou k žádoucím výsledkům. Pokud se jedná o rozpustná barviva, je odstranění barvy neúčinné, a odstranění CHSK se pohybuje okolo 50 %. Vedle toho, při biodegradaci a adsorpci na vločky kalu může být dosaženo odstranění barviv 40 – 50 %. Odstranění CHSK může dosáhnout 70 %. Pokud biodegradaci a fyzikálně – chemické procesy použijeme v kombinaci, může být odstranění CHSK více než 85 %. Konvenčními způsoby čištění může být tedy účinně sníženo CHSK, výstupní voda má ale vysoké hodnoty zabarvení. (Marmagne O. a Coste C. 1996)



Obr. 25 Schéma rozdělení Procesů čištění odpadních vod z TP(Das S. rok neznámý)

Protože OV obsahuje vedle barviv také vysoké koncentrace solí a látek nebezpečných pro životní prostředí, není jediným cílem při návrhu ČOV pouze odstranění zabarvení. Návrh se musí soustředit také na účinné snížení koncentrace CHSK a BSK.

Textilní odpadní vody obsahují řadu rezistentních látek, které jsou klasickými mechanickými, chemickými a biologickými procesy neodstranitelné. Mnohem účinněji působí moderní, intenzivnější metody čištění. Procesy čištění se rozdělují na primární, sekundární a terciární (Obr. 25). Obr. 26 uvádí různé kombinace technologií při čištění textilních OV.



Obr. 26 Kombinace technologií pro čištění odpadních vod z textilního průmyslu (Hai F.I. 2007)

#### 4.5.1 Cezení, Sedimentace, Vyrovnávání a neutralizace

Přitékající odpadní vody mají vysoký obsah suspendovaných látek. Vlákna, kousky přízí a textilií se odstraní na česlích a sítích. Mohly by dále v procesu zanášet filtry, aktivované uhlí aj. Pokud odpadní voda obsahuje vysoký podíl usaditelných suspendovaných látek, začleňuje se do primárního předčištění sedimentace. Pro vyrovnání přítoku a zatížení znečištěním na ČOV mohou být odpadní vody shromážděny v jímce promíchávané mechanickými mýchadly nebo provzdušťováním. Dochází zde ke smísení vod z různých stupňů výroby a odpadní voda, která jde dál do čistírenských procesů, tak získává jednotný charakter co se znečištění, pH a teploty týká. (Sengupta B. 2007) Před vstupem do sekundárních biologických procesů je rovněž důležitá neutralizace. Biologické procesy probíhají efektivně při pH 5 – pH 9. (Das S. rok neznámý)

#### 4.5.2 Chemická Koagulace/flokulace

Prostá sedimentace neodstraní vysoký podíl suspendovaných látek. Pro podporu srážení se při chemické koagulaci přidávají Koagulanty. Po přidání koagulantu (látky podporující srážení koloidních a suspendovaných látek) dochází k tvorbě sraženiny. Na sraženinu se nabalují znečišťující látky v odpadní vodě. Takto vysrážené a vyvločkované znečištění se odděluje od vody sedimentací, nebo flotací. Účinnost odstranění suspendovaných látek je 80 – 90 %, BSK 40 – 70 % a CHSK 30 – 60 %. Srážení a koagulace má dobrý efekt při odstraňování hydrofobních barviv, problémem jsou ovšem hydrofilní ve vodě rozpustná barviva. K jejich odstranění není koagulace nejvhodnějším řešením. (*Das S. rok neznámý*)

Používané koagulanty:

- Anorganické - Kamenec, vápno, hořčík, soli železa ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ )
- Organické – polymery

Metoda byla dříve používána k čištění odpadních vod z barvení. S vývojem rezistentnějších barviv se však anorganické koagulanty stávají neúčinnými. Jejich nevýhodou je produkce velkého množství kalu a nízká účinnost při odstranění ve vodě rozpustných barviv. Polymery jsou účinnější, ale mají nepříznivý vliv na provoz ČOV, a některé mají toxický účinek na vodní organismy. (*Barclay S. a Buckley Ch. 2000*)

#### 4.5.3 Biologické čištění

Textilní odpadní vody jsou zčásti čistitelné biologickými metodami. Vedou ke snížení obsahu BSK, CHSK, suspendovaných látek, olejů aj. (*Das S. rok neznámý*)

Hlavními problémy biologického čištění odpadních vod z textilní výroby jsou vysoká koncentrace rozpuštěných látek a možná přítomnost toxických těžkých kovů, které nepříznivě ovlivňují mikrobiální růst. Velkou nevýhodou biologického čištění je také nízká účinnost při odstraňování barviv. (*Eswaramoorthi S. at al. Rok neznámý*)

##### Aerobní biologické čištění

Odpadní vody je čištěna v aerobních podmínkách (přítomnost kyslíku). Odpadní látky rozkládají aerobní bakterie. Konečnými produkty jsou kal a  $\text{CO}_2$ . Jako biologický stupeň je možné zařadit aerobní laguny, skrápěné biologické filtry, oxidační příkopy nebo aktivaci. (*Das S. rok neznámý*)

Aerobní biologické metody jsou úspěšné v odstranění CHSK (až 70%) a zákalu, nejsou však úspěšné v odstranění zabarvení. To se pohybuje v rozmezí 40 – 50% odstranění (převážně díky adsorpci na aktivovaný kal, ne rozkladem barviv). Tato adsorpce je závislá i na typu barviva. (*Marmagne O. a Coste C. 1996*)

##### Anaerobní biologické čištění

Dochází k biodegradaci odpadních látek za nepřítomnosti kyslíku, konečnými produkty jsou  $\text{CO}_2$ , metan a voda. Proces je vhodný pro čištění OV s vysokou hodnotou CHSK (OV ze šlichtování a praní). Vede rovněž k částečnému rozkladu azo barviv na aromatické aminy, a to formou štěpení azo vazby. (*Barclay S. a Buckley Ch. 2000*)

Konvenční biologické metody čištění nejsou pro textilní odpadní vodu příliš vhodné. OV obsahují nižší podíl BSK a vysoké koncentrace RAS, CHSK a zabarvení. Jako vhodné se jeví použití membránových bioreaktorů s mikro- nebo nano- filtračními membránami. (Eswaramoorthi S. at al. Rok neznámý)

#### 4.5.4 Membránová filtrace

K čištění odpadních textilních odpadních vod lze využívat membránové procesy.

##### **Mikrofiltrace a ultrafiltrace**

Mikrofiltrace a ultrafiltrace mají v případě TP omezenou účinnost, nevedou k výraznému snížení obsahu barviv a RAS projdou systémem beze změny. (Sengupta B. 2007) Mikro- a ultrafiltrace se používají jako součást aktivačního procesu - tzv. membránové bioreaktory. Použití membránových bioreaktorů namísto klasické aktivace s sebou však nese řadu výhod a pro použití k čištění textilních odpadních vod se ukázalo být vhodné. Podle (Eswaramoorthi S. at al. rok neznámý) řeší zařazení membránových bioreaktorů následující problémy klasické aktivace použité při čištění textilních OV:

- Nízké zatížení kalu kvůli nízkým hodnotám BSK v odpadní vodě
- Špatné sedimentační vlastnosti kalu
- Růst řas způsobený vysokým obsahem celkových rozpuštěných látek
- Vyšší pořizovací náklady způsobené nízkou koncentrací kalu a tím větším objemem nádrže a vyšší potřebnou dobou zdržení
- Špatná odolnost proti změnám kvality surové vody
- Vysoká produkce kalu
- Nízká účinnost odstranění nutrietů (v případě zařazení reversní osmózy pro dočištění může dojít k narůstání mikroorganismů na membráně)
- Nízká kvalita na odtoku

##### **Výhody MBR** (Eswaramoorthi S. at al. rok neznámý)

- Nízká doba zdržení (8-12 hod.) oproti konvenčním procesům (15 – 28 hod) a tím nižší objem aktivace
- Vysoká koncentrace aktivovaného kalu (8 – 15 Kg/m<sup>3</sup>) – vyšší odstranění BSK
- Provoz při nízkém zatížení kalu s dlouhou dobou zdržení - nižší produkce kalu a s ní spojené náklady na zneškodnění kalu.
- Vznik kvalitního kalu
- Odstranění bakterií a patogenů
- není nutné instalovat např. pískové filtry pro odstranění jemných suspendovaných částic
- Kvalitnější nitrifikace (nedochází k vyplavování bakterií)
- Vyšší účinnost odstranění fosforu (souvisí s vysokou koncentrací suspenzí)
- Vhodné předčištění před reversní osmózu

Použití membrán zajišťuje jednotnější kvalitu odtoku (díky vysokému poměru recirkulace kalu) a je vhodné jako předstupeň před terciárním dočištěním, které v závěru zahrnuje instalaci reversní osmózy. Membrány napomohou dostatečnému odstranění nerozpuštěných a suspendovaných látek. Částečně odstraní také barviva (v závislosti na chemické struktuře). Pokud je odtok dále dočišťován, a následně veden přes RO, je zadržený koncentrát méně zabarven právě díky předřazení membrán mikro- či nanofiltračních. (*Eswaramoorthi S. at al. rok neznámý*)

### Nanofiltrace

Nanofiltrace dokáže odstranit CHSK, zabarvení, bivalentní ionty ( $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  způsobující tvrdost vody), ale neporadí si s rozpuštěnými látkami. Po průchodu nanofiltrační membránou tak ve vodě zůstávají rozpuštěné anorganické soli. (*Sengupta B. 2007*)

### Reversní osmóza

Odpaní voda obsahuje vysoké koncentrace solí a barviv. Reversní osmóza oddělí efektivně barviva, ionty solí a všechny ostatní rozpuštěné látky s účinností  $> 90\%$ . Při reversní osmóze je na vodu aplikován tlak vyšší než osmotický tlak odpadní vody. Dochází k prostupu molekul vody přes membránu, zatímco rozpuštěné látky, ionty, barviva a ostatní jsou zadrženy. Proces je energeticky náročný a jsou s ním spojeny poměrně vysoké provozní náklady. Přes vlastním procesem je důležité z vody odstranit suspendované látky (Fe, Mg), organické látky, uhličitany, křemičitany aj., které by způsobovaly rapidní zanášení. Reverzní osmózu je možné zařadit za primární, sekundární a terciární proces čištění, jako dočištění odpadních vod za účelem znovuvyužití. Pro znovuvyužití čištěné odpadní vody z procesu barvení je její použití nevyhnutelné. Nevýhodou procesu je vysoká spotřeba energie a nutnost zneškodňovat vznikající odpadní koncentrát. (*Sengupta B. 2007*)



Obr. 27 Systém RO (*MEGA a.s.*)



Obr. 28 Membránový modul (*KUBOTA. 2010*)

### Elektrodialýza

Řadí se k membránovým procesům. Jedná se o aplikaci elektrod pod napětím do čištěné odpadní vody. Kationy a aniony přecházejí na elektrodu s příslušným protikladným nábojem přes membrány, propustnou pouze pro kationy/aniony. Pro zamezení zanášení

membrány je důležité před aplikací elektrodialýzy z vody důkladně odstranit zákal, suspendované a koloidní látky a stopy organických látek. (*Das S. rok neznámý*)

#### 4.5.5 Adsorpce

Slouží k odstranění barviv, jiných organických rozpustných látek, a některých chemikálií (fenoly, pesticidy). Odpadní voda protéká adsorpčním materiálem. Rozpuštěné organické částice se adsorbují na povrch adsorbentu. Adsorbent musí mít velký specifický povrch, schopný pojmout vysoké množství znečištění.

Používané adsorbenty: Aktivované uhlí, jíly, křemen, popílek, bioadsorbenty (polymery) a další

Nejčastěji používaným adsorbentem je aktivované uhlí. Vyrábí se z uhlíkatého materiálu (ropné produkty, dřevo, uhlí), spálením materiálu za nepřítomnosti vzduchu. Dále se oxiduje za vyšší teploty, a vytváří pevnou porézní hmotu. Aktivní uhlí neodstraňuje anorganické soli, a po určité době používání je nutné provést regeneraci (chemická x tepelná), která je finančně dosti náročná. (*Sengupta B. 2007*)

#### 4.5.6 Chemická oxidace

Je založena na přenosu elektronů mezi chemickými sloučeninami. Cílem oxidace je degradace organického i jiného znečištění v odpadní vodě na anorganické konečné produkty, které již nejsou nebezpečné. (*Das S. rok neznámý*)

#### 4.5.7 Elektrochemické procesy

Proces využívá železné galvanizační elektrody, která do vody uvolňují ionty železa. Tyto ionty vytvářejí nerozpustnou matici, která adsorbuje těžké kovy, barviva a pigmenty. Nerozpustné částice jsou následně separovány z vody. Vhodné pH přitékající odpadní vody je v rozmezí 7 – 9. Proces vede ke snížení CHSK, nerozpustných a rozpuštěných látek, organického uhlíku, zabarvení aj.

Při procesu je možné dosáhnout 50 – 70 % odstranění BSK, 50 – 70% odstranění CHSK, zabarvení více než 90%, odstranění těžkých kovů 80 – 100 % a suspendovaných látek 80 – 100 %. Účinnost procesu závisí na kvalitě odpadních vod a dávce železa. Před vlastní aplikací je vhodné provést pilotní zkoušky v místě budoucího osazení technologie. (*Kennedy M. 1991*)

#### 4.5.8 Iontová výměna

Proces slouží k odstranění anorganických solí, a některých organických aniontových sloučenin (např. fenolů). Každá sůl je tvořena kationem zásady, a anionem kyseliny. Při iontové výměně se používají tzv. měniče iontů, což jsou látky, které na svém povrchu nesou určitý náboj. Funkční skupina měniče má schopnost ve vodě disociovat, a navázat na sebe ionty z roztoku. Podle náboje funkční skupiny rozlišujeme iontoměniče s funkční skupinou mající kladný náboj (anex) a ty s funkční skupinou se záporným nábojem (katex). Iontová výměna probíhá následně: Do čištěné odpadní vody, která obsahuje nežádoucí

ionty, je přidán měnič iontů (katex). Dochází k jeho disociaci, a k navázání kationů z vodního prostředí na funkční skupinu. Původní kationy (často  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ), tvořící s funkční skupinou katex, se dostanou do vodního prostředí. Tato metoda slouží například k odstranění tvrdosti vody (odstranění  $\text{Ca}^{2+}$  iontů). Jeden druh nečistoty se transformuje na jiný. Právě  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  mají vysokou afinitu pro iontovou výměnu, a mohou být úspěšně odstraněny. (Sengupta B. 2007)

#### 4.5.9 Termální Evaporace

Při evaporaci dochází ke zvýšení koncentrace chemikálií v textilní odpadní vodě prostřednictvím vypaření části vody z roztoku. Systém termální evaporace sestává z vertikálních potrubí, kterými voda neprotéká, ale pouze stéká po stěnách nerezového potrubí. Potrubí je dále zahříváno parou. Část vody se odpaří, a vzniklý koncentrát se akumuluje v dolní části evaporátoru. Odtud přechází do další evaporační trubky, do druhého stádia, kde dochází k dalšímu zahuštění. Proces probíhá tak dlouho, dokud není dosaženo požadované koncentrace nebo hustoty roztoku. Vzniklá pára kondenzuje v kondenzátoru a je odváděna. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 50 – 80 C. Při provozu vznikají na stěnách trubek inkrustace. Proto je třeba systém pravidelně čistit působením chemikálií. Termální evaporaci je vhodné použít jako předstupeň krystalizace. (Sengupta B. 2007)



Obr. 29 Multiefektní evaporátor (Sengupta B. 2007)

#### 4.5.10 Krystalizace

Krystalizace je metoda vhodná k extrakci chemikálií z odpadní vody ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  aj.), která by umožnila jejich znovuvyužití. Využívá se rozdílné rozpustnosti pevných látek ve vodě při různé teplotě. Čím vyšší teplota, tím vyšší rozpustnost. Při ochlazení roztoku o konkrétní koncentraci se roztok stává přesyceným (obsahuje více rozpuštěných solí, než je při dané teplotě možné) a dojde ke krystalizaci těchto solí (např.  $\text{NaCl}$ ). (Sengupta B. 2007)

Metody čištění jsou velmi obsáhlé kapitoly, jejich podrobnější popis není předmětem diplomové práce.



## 4.6 ZNOVUVYUŽITÍ OV Z TEXTILNÍHO PRŮMYSLU

Jak bylo uvedeno v kapitole 2, znovuvyužití odpadních vod v textilním průmyslu nabývá v dnešní době na významu díky zpříšňujícím se enviromentálním požadavkům a je aktuální především v zemích, které trpí nedostatkem vody, nebo začínají pociťovat její zkracující se zásoby. V oblastech, kde je voda cennou surovinou, pokryjí v blízké době náklady na odběr čisté vody a vypouštění vody odpadní náklady na provoz systému znovuvyužití vody a solí.

Znovuvyužití v sobě zahrnuje využití odpadní vody, která je přečištěna, v jiném procesu textilní výroby (popřípadě v procesu totožném). Textilní továrny často pokrývají celou škálu výrobních procesů, od předúpravy vláken přes tkaní, barvení, praní až po finální úpravy. Textilní výroba nezahrnuje procesy, které by měly výrazně nižší požadavky na kvalitu vstupní vody. V takovéto lince by bylo výhodné čistit odpadní vody z procesů produkujících méně rezistentní znečištění (jako je například tkaní a praní surových materiálů a tkanin) a tyto vody používat v jiných procesech (například barvení, praní). Čištění těchto vod není tolik náročné a nákladné. Při návrhu znovuvyužití je tedy nejdříve nutné podrobně se seznámit s vodními toky v podniku a zvážit možnosti znovuvyužití mezi jednotlivými procesy.

Mnoho textilních podniků však zaměřuje svou výrobu pouze na jeden proces (jedná se často o barevny, které provádí pouze barvení a s ním spojené aplikace). V případě linky, kde se nachází pouze jeden stěžejní proces, je jedinou možností recyklace odpadní vody v rámci tohoto procesu.

Mokré procesy (barvení, potisk, finální úpravy) vyžadují vysokou kvalitu vody. Pro znovuvyužití musí být tedy odpadní voda čištěna způsoby, které jsou intenzivnější než ty používané při běžném vypouštění čištěných odpadních vod do toků. (Aquafit4use. 2010) Pro dosažení vysoké kvality vody na odtoku z čistírny je stěžejní návrh technologické linky ČOV s pečlivým výběrem, testováním a aplikací intenzivních čistících metod a jejich vhodnou kombinací. Tak je možné dosáhnout jednak znovuvyužití odpadní vody (a tím snížení množství znečištění vypouštěného do povrchových vod), jednak extrakci a znovuvyužití solí z odpadní vody.

Při čištění OV z TP je možné zvolit 2 strategie:

### **Kolektivní čištění směsné odpadní vody**

Při kolektivním čištění všech OV vyprodukovaných v podniku jsou aplikovány primární, sekundární a případně terciární procesy čištění. V případě požadavku na znovuvyužití je zařazen další stupeň čištění. Jeho složení je závislé na zbytkovém znečištění OV. Schéma ale neumožňuje extrakci a znovuvyužití solí.

### **Oddílné čištění odpadních vod**

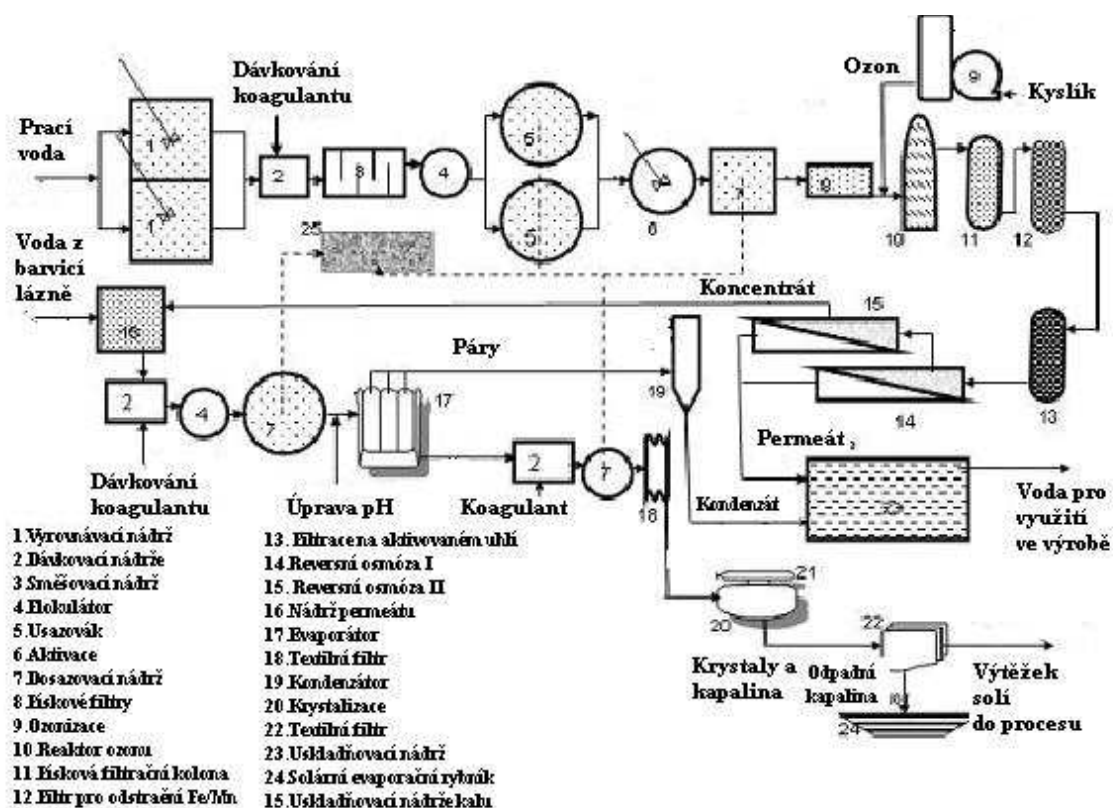
Při separátním čištění jsou silně koncentrované odpadní vody čištěny zvlášť, s cílem extrakce solí. Čistírenský proces v tomto případě sestává ze dvou linek. První linka je navržena pro čištění silně znečištěných odpadních vod z barvicí lázně a prvních praní. Druhá linka čistí naředěné odpadní vody z procesů následného praní. Slabě znečištěné



odtoky například z praní nebo barvení světlými odstíny jsou čištěny za účelem znovuvyužití vody v podniku. Při použití reversní osmózy jako konečného prvku úpravy je vzniklý koncentrát odváděn na čištění silně znečištěných vod. (Sengupta B. 2007) Se silně znečištěným proudem je nakládáno metodami, které umožňují zakoncentrování odpadní vody a následné oddělení solí pro jejich další využití ve výrobě: Pro extrakci a znovuvyužití solí se aplikují procesy evaporace a krystalizace.

Pro čištění silně znečištěného proudu je možné použít nanofiltraci. Vzniká odtok zbavený zabarvení, s vysokou koncentrací solí (např. NaCl), který je možné využít v procesu barvení bez přídavku vysokých dávek solí. Tento přístup je možné použít pouze v podniku, kde probíhá barvení jednoho typu materiálu.

Návrh několika variant řešení znovuvyužití obsahuje studie (Sengupta B. 2007). Podle zdroje je pro znovuvyužití OV vhodná linka, na jejímž konci je instalována jednotka reversní osmózy (kap.4.5.4). Reversní osmóza je jedna z technologií, které umí odstranit z vody RAS. Její použití ale vyžaduje důkladné předčištění odpadních vod, které by muselo zahrnovat vřazení dalších technologií za objekty klasické ČOV čistící textilní odpadní vody. Předčištění by obsahovalo např. adsorpci na aktivovaném uhlí, pískové filtry, filtry pro zachycení Fe a Mn a AOP (např. ozonizace). Voda na odtoku musí být monitorována. Aplikace reversní osmózy v oblasti čištění průmyslových odpadních vod je poměrně nová. Její nevýhodou je již zmíněné důkladné předčištění a také vznikající koncentrát, který musí být zneškodněn.



Obr. 30 Schéma čistící linky pro znovuvyužití vody a solí (Sengupta B. 2007)

## 4.7 ZKUŠENOSTI S VYUŽITÍM VYBRANÝCH AOP PŘI ČIŠTĚNÍ OV Z TEXTILNÍHO PRŮMYSLU

Uvedená kapitola obsahuje přehled dosavadních zkušeností s aplikací vybraných pokrokových oxidačních procesů (AOP) při čištění odpadních vod z textilního průmyslu. Zmíněny jsou pouze ty procesy, které jsou předmětem výzkumu v rámci programu AOP4water. Popis dvou procesů nad rámec projektu je uveden z důvodu jejich četné a úspěšné aplikace v řadě provedených studií (jedná se o kombinaci  $H_2O_2$ /UV a UV/ $TiO_2$ ).

### JEDNOTLIVÉ OXIDAČNÍ PROCESY

#### 4.7.1 Ozonizace ( $O_3$ )

Ozon účinně zvyšuje čistitelnost textilních odpadních vod. Používá se jednak před biologickým čištěním, pro zvýšení biodegradability odpadních složek, jednak po biologickém čištění, jako proces dočištění. Ve zkratce ozon podporuje odstranění barviv, toxických látek a jiných rezistentních polutantů. V minulých letech proběhla řada studií, testujících použití ozonizace na různých typech znečišťujících látek, které tvoří problémové složky v odpadních vodách z textilního průmyslu.

Obecně z provedených studií plyne, že ozonizace je velmi účinná při odstraňování jinak těžce odstranitelných barviv. Vede ke zvýšení biologické rozložitelnosti barviv, ale její účinnost je velmi nízká, co se snížení CHSK a TOC týká. Například v (*Baban A. et al. 2003*) byla použita ozonizace před i po biologickém čištění odpadních vod z barvení vlněných textilií. Tyto vody mají vysoký obsah rezistentních, těžko odstranitelných látek. Počáteční adsorpce ozonu  $O_3=18.5$  mg/l byla testována pro různé reakční časy. Účinnost ozonizace byla pozorována jako míra odstranění CHSK a zabarvení, současně byly prováděny testy toxicity. Výsledkem bylo, že po 40-ti minutové ozonizaci s předcházejícím biologickým čištěním byla účinnost odstranění barvy 98-99 %, zatímco při ozonizaci surové nepředčištěné vody bylo odbarvení po 60 minutách pouze 70 – 75%. Kontakt ozonu s vodou po biologickém čištění (10 min) vedl ke snížení toxicity až o 92 %. Rychlost odstranění CHSK bylo vyšší po předcházejícím biologickém čištění, než při ozonizaci nepředčištěné surové vody

Stejně tak v (*Selcuk H., 2005*), kdy byla doba ozonizace 20 minut, bylo výsledkem odstranění barvy 98 %, CHSK pouze 37%, a toxicity 85%.

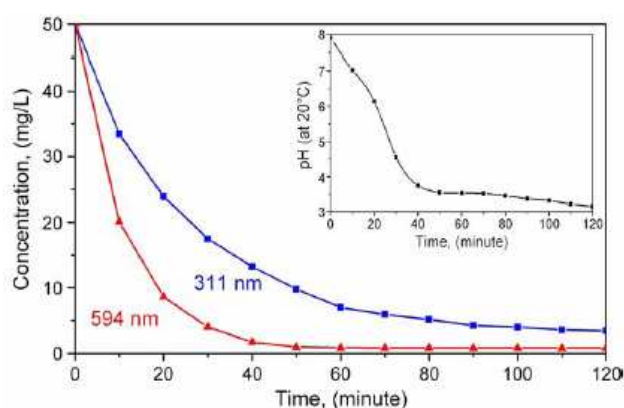
Účinek ozonizace byl pozorován jak na odpadních vodách z textilní výroby, tak také na jednotlivých barvivech, která tvoří stěžejní problém při čištění textilních odpadních vod. Řada studií zaměřuje svou pozornost na konkrétní skupiny barviv, a jejich odstranitelnost působením ozonu.

Podle výzkumů ozonizace účinně odstraňuje všechna barviva, kromě nerozpustných disperzních barviv, kypových barviv a sirných barviv, která reagují pomalu. Podle (*Soares et al., 2006*) byla efektivita odstranění těchto barviv nižší než 86 %. V (*Szpyrkowicz L. et al. 2001*) byly testovány účinky některých oxidačních procesů (ozonizace, elektrochemických procesů, fentonovy reakce) na odstranění disperzních barviv.

Ozonizace odstranila s 90% účinností barvivo (dávka ozonu 0,5 g/l), ale odstranění CHSK bylo jen okolo 10%.

V (Wang C. *et al.*, 2003) je uveden efekt ozonizace (20,5 mg/l) na azo barviva (testované barvivo Remazol black 5). Výsledkem bylo opět vysoké odstranění barviva, a neuspokojivé snížení obsahu CHSK (44 % po 3 hodinové ozonizaci) a TOC (25 % po 3 hodinách) (tabulka 2). Koncentrace barviva RB5 byla poměrně vysoká - 2 g/l. Celková doba ozonizace byla zvolena vyšší, než v doposud prováděných studiích, a to 360 minut (běžná doba je 30 – 60 minut). Po této době došlo k téměř kompletnímu odbarvení odpadní vody, při koncentraci ozonu 20,5 mg/l. Důvodem nízkého odstranění CHSK a TOC je oxidace molekul barviv na malé organické částice, které v daných podmínkách nejsou zcela mineralizovány. S poklesem CHSK došlo k výraznějšímu nárůstu BSK, což vedlo ke zvýšení poměru BSK/CHSK z původní hodnoty 0,2% na hodnotu 8 po 30 – ti minutách, a 13,8 % po 360 minutách. Výsledky ukazují, že kombinace ozonizace (která zvyšuje biorozložitelnost znečištění v textilní vodě) a následného biologického čištění, může být efektivním způsobem zneškodňování odtoků odpadních vod z barvíren, a obecně z textilních továren. Potřebná doba ozonizace je poměrně dlouhá, a tedy s sebou nese vysoké náklady. Při zkrácení doby ozonizace má čištěná voda vysokou toxicitu, a to z důvodu vzniku toxických meziproductů v prvních fázích ozonizace.

Studie (Colindres P. *et al.*, 2010) zkoumala využití ozonizace při odstraňování reaktivního barviva (Reactive black 5) na modelovém vrozku odpadní vody, který má simulovat odtok z textilní továrny. Počáteční koncentrace barviva byla 50 mg/l, počáteční koncentrace ozonu 0,2 mg/l. Po přidání pomocných přísad ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  aj.), které se běžně používají v textilním průmyslu, došlo po 10 min ozonizaci k úspěšnému odbarvení, a byla testována možnost znovuvyužití vyčištěné vody v procesu.



Obr. 31 Odbarvení a změny pH při ozonizaci. (Colindres P. *et al.*, 2010)

Během ozonizace vznikaly meziproducty, k jejichž odstranění byla potřebná delší doba ozonizace. V provedené studii byly odbourány po 120 minutách, bylo však pozorováno, že se postupně kumulují v čištěné vodě. Tyto látky mohou negativně působit na proces barvení, a to v závislosti na typu používaného barviva (u přímých barviv je vliv menší, než u barviv reaktivních).

Odstranění kyselých barviv ozonizací demonstruje studie (*Muthukumar M. et al., 2005*). Testovanými barvivami jsou Acid Red 88, Acid Red 18, Acid Orange 7, Acid Orange 10 a Acid Red 73. Jednalo se odtok z barvení hedvábí. Odpadní vody byly zcela odbarveny, a poté dvakrát znovu – využity v procesu barvení. Pozorovanými parametry bylo pH, odbarvení, CHSK, celkové rozpuštěné látky a toxicita. Vliv recyklace na výsledek barvení byl popsán pomocí rozdílu v barvě  $\Delta E$ . Poznatkem bylo, že ozonizace efektivně odstraňuje barvivo, malá účinnost je při odstranění celkových nerozpuštěných látek, a účinné se jeví odstranění CHSK. Vyčištěná voda může být v procesech využívajících Acid Red 88 a Acid Red 73 znovu – využita dvakrát, v procesech využívajících Acid Red 18 a Acid Orange 10 pouze jednou, aby nebyla překročena přípustná hodnota  $\Delta E$ .

Ozonizace disperzních barviv byla popsána v (*Szpyrkowicz L. et al. 2001*). Efektivita odbarvení byla vysoká, při dávce ozonu 0,5 g/l odbarvení 90%. Odstranění CHSK nebylo efektivní, při stejné dávce ozonu pouhých 10%.

Z výzkumů tedy plyne, že hlavní nevýhodou ozonizace je vznik vedlejších produktů, které mohou být toxické nebo karcinogenní. Podle (*Wang C. et al., 2003*) vznikají v první fázi ozonizace toxické produkty kyselé povahy, snižující pH vody. Při dlouhodobé ozonizaci se zvyšuje biodegradabilita vod, což je dáno úbytkem toxických vedlejších produktů při delším působení ozonu.

Použití ozonu zvyšuje index biodegradability (BSK/CHSK) textilních vod v závislosti na typu a koncentraci použitého barviva. Podle (*Neumet F.S. a Hasan Z.S., 2002*) zvýší ozonizace index biodegradability 1,6 krát.

Účinnost ozonizace ovlivňují některé podmínky, jako je teplota, pH a CHSK, přítomnost akceptorů volných radikálů, dávkování ozonu, doba působení ozonu a původní koncentrace barviv. Účinnost odstranění barviv se zvyšuje s e zvyšující se teplotou odpadní vody.

### **Vliv pH**

pH odpadní vody je pro ozonizaci klíčový parametr, na kterém závisí míra odstranění CHSK a TOC. Účinnější odstranění CHSK a TOC je způsobeno efektivními reakcemi radikálů při pH 7, a nižším inhibičním účinkem uhličitánů při tomto pH (*Al-kdasi A. et al., 2004*). Při hodnotách  $\text{pH} < 7$  reaguje ozon jako samostatné molekuly  $\text{O}_3$ , a reakční rychlost je velmi malá. Při pH nad 8 se ozon rozpadá na volné hydroxylové radikály, které jsou silně reaktivní. Pro oxidaci organických látek je nejvhodnější pH v rozsahu 8 – 10, při kterém se Ozon ve vodě rychle rozpadá, při pokojové teplotě je poločas rozpadu okolo 20 minut. Rozpad může být urychlen přítomností hydrogenuhličitánů a uhličitánových iontů, které působí jako akceptory radikálů. Uhličitany přijímají radikály mnohem ochotněji než hydrogenuhličitany.  $\text{pH} > 10$  je proto již méně vhodné pro ozonizaci, protože při něm hydrogenuhličitany přecházejí na uhličitany, a ty nadměrně pohlcují volné radikály, důležité pro oxidaci (*Salama A., 2000*).

### **Vliv koncentrace barviva**

Jak již bylo uvedeno výše, efekt ozonizace je závislý na původní koncentraci barviva. Jak bylo prokázáno v (*Soares et al., 2006*), čím vyšší je koncentrace barviva, tím nižší je

účinnost ozonizace při odbarvení, a tím vyšší je spotřeba ozonu. Odbarvovací účinek se zvyšuje se zvýšením dávky ozonu. Přítomnost solí v odpadní vodě snižuje čistící účinek.

### **Vliv koncentrace a doby působení ozonu**

Rychlost rozkladu barviva se zvyšuje s koncentrací ozonu (*Turhan K.a Turgut Z., 2009*). Důležitým faktorem ozonizace je také doba působení ozonu na odpadní vodu. Efektivita odstranění barviv se zvyšuje se zvyšující se kontaktní dobou. (*Soares at al., 2006*)

### **Vliv CHSK odpadních vod**

Podle (*Ciardelli G. a Ranieri N. 2001*) je účinnost odstranění barviva závislá na CHSK odpadní vody (99 % odbarvení při CHSK 160 mg/l, 95% odbarvení při CHSK 203 mg/l). Dále podle zdroje platí, že účinnost odstranění CHSK je rovněž závislá na počáteční koncentraci CHSK v odpadní vodě ( 67 % při počáteční CHSK 160 mg/l, 39 % při CHSK 203 mg/l). Z uvedeného vyplývá, že efektivita odstranění barviva a CHSK je tím vyšší, čím nižší je počáteční koncentrace CHSK. Účinnost odstranění barviv se zvyšuje se zvyšující se teplotou odpadní vody v rozsahu 25 – 50 °C.

### **4.7.2 UV**

Samotné UV záření nemá při čištění odpadních vod velkou účinnost. Používá se proto převážně jako katalyzátor v kombinaci s ozonem, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, US, TiO<sub>2</sub> a dalšími látkami. Tyto procesy se označují jako fotokatalýza.

(*Tezcanli-Guyer G. a Ince N.H., 2004*) uvádí, že účinek samotného UV ozařování na Acid Orange 7 byl nulový.

Podle (*Perkowski J. a Kos L. 2003a*) se odbarvovací účinek UV záření pohybuje v hodnotách 67 – 75%. Zvýšený účinek UV záření je způsoben sekundárními rozkladnými reakcemi při rozpadu barviv. Podle (*Perkowski J. a Kos L., 2003b*) dosahuje odbarvení textilních vod UV zářením hodnot 0 – 60%, v závislosti na době ozařování.

Účinnost UV ozařování ovlivňují některé faktory, jako pH, teplota, a počáteční koncentrace barviva. Studie(*Ghodbane H. a Hamdaoui O., 2010*) testovala mimo jiné použití přímého UV záření při odstranění kyselého barviva Acid Blue 25. Rychlost odbarvení se zvyšovala se snižujícím se pH, a snižující se počáteční koncentrací barviva. Ve srovnání s kombinacemi UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a UV/Fe<sup>(III)</sup> byla účinnost samotného UV ozařování nízká.

Studie (*Bali U. et al., 2004*), kde bylo testováno UV záření a jeho kombinace UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>(III)</sup> opět prokázal, že samotné UV je při čištění a odbarvování velmi málo účinné. Jeho čistící efektivita byla při odbarvení přímých barviv Direct Red 28 a Direct Yellow 12 zanedbatelná. Znatelně účinnější je kombinace UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a nejvyšší účinnosti dosáhla kombinace UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>(III)</sup>(Foto-fentonova reakce).

### **4.7.3 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> je účinné oxidační činidlo pro odbarvení odpadních vod z textilního průmyslu. Stejně jako ozon však nemusí vést k úplné mineralizaci organického znečištění na konečné produkty H<sub>2</sub>O a CO<sub>2</sub>. Při oxidaci tak mohou vznikat meziprodukty, jejichž toxicita je vyšší

než toxicita původních znečišťujících složek. Úplná oxidace organického znečištění může být dosažena kombinací  $\text{H}_2\text{O}_2$  s UV zářením,  $\text{Fe}^{2+}$  nebo US (Munter R., 2001). Méně účinná je kombinace  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ , která vede k nižší mineralizaci látek, než u zbylých kombinací.  $\text{H}_2\text{O}_2$  v této kombinaci působí jako urychlovač rozkladu ozonu, což vede k rychlejší tvorbě hydroxylového radikálu (Arslan I. et al., 1999).

Některé studie prokazují účinnost působení samotného peroxidu vodíku při odbarvování textilních vod. Podle (Perkowski J. a Kos L., 2003b) byla účinnost odbarvení při čištění odpadních vod  $\text{H}_2\text{O}_2$  v rozmezí 0 – 66 %, v závislosti na množství  $\text{H}_2\text{O}_2$  a kontaktní době. Při testování modelového vzorku vody v (Perkowski J. a Kos L., 2003a) byl do vody přidáván  $\text{H}_2\text{O}_2$  v různých dávkách a s různou reakční dobou. Efekt odbarvení byl 50 – 83 %, a 67 – 90 %, a to v závislosti na množství  $\text{H}_2\text{O}_2$  (od 5 do 20  $\text{cm}^3$  perhydrolu (= 30 % roztok  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) na  $\text{dm}^3$  znečištěné vody) a dále na reakční době (1 a 2 hodiny).  $\text{H}_2\text{O}_2$  způsoboval dobré odbarvení odpadní vody. Jako nejvýznamnější faktor se ukázala být koncentrace  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Při velkých dávkách (20  $\text{cm}^3/\text{dm}^3$  odpadní vody) byl reakční čas prodloužen z 1 na 2 hodiny. Výsledkem ale nebylo zvýšení odbarvovacího účinku.

V důsledku malé účinnosti samotného  $\text{H}_2\text{O}_2$  při rozkladu organických látek se tato látka ve výzkumu i praxi při čištění odpadních vod využívá v kombinaci s jinými oxidačními technologiemi (jak bylo uvedeno výše, jsou to kombinace  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{US}$ ). Při odbourávání organických látek se ukázalo být nejúčinnější použití  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ .

#### 4.7.4 US

V odborné literatuře se nevyskytuje žádná zpráva o testování sonolýzy na reálném vzorku odpadní vody z textilního průmyslu. Několik případů je k nalezení při odstraňování textilních barviv.

Někteří autoři se věnují nákladovému zhodnocení ultrazvuku a jiných procesů. (Mahamuni N.N. a Adewuyi Y.G., 2010). Hlavním parametrem je doba potřebná k působení ultrazvuku pro dosažení požadovaného výsledku. Do celkových nákladů byly zahrnuty ceny za elektrickou energii, chemikálie, vybavení a práci. Z jejich studie vyplývá, že náklady na sonolýzu azo-barviv jsou příliš vysoké ve srovnání s ostatními AOP technologiemi. Jen kombinace s jinou AOP technologií může náklady snížit. Testovány byly kombinace US/UV, US/ $\text{O}_3$  a US/ $\text{H}_2\text{O}_2$ . Jako nejúčinnější se při odstraňování azo barviv jevila kombinace US/UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ . Důvodem vysokých nákladů sonolýzy jsou vysoké pořizovací náklady, potřeba dlouhé doby ozařování a nízká efektivita přeměny elektrické energie na energii kavitační (< 34%). K degradaci textilních barviv dochází vně kavitační bubliny. Hydroxylové radikály se často rekombinují za vzniku méně silných radikálů dříve, než se dostanou ke znečištění.

Ultrazvuk používaný v čistírenství samostatně je velmi málo účinný. Podle (Tezcanli-Guyer G. a Ince N.H. 2004) je rychlost odbarvení samotným ultrazvukem velmi pomalá a celkového odbarvení může být dosaženo pouze v kombinaci ultrazvuku a  $\text{O}_3$  nebo UV.

Podle (He Z., Lin L. et al. 2008) je důvodem nízké účinnosti dlouhá potřebná doba působení ultrazvuku, pro rozklad TOC na konečný produkt CO<sub>2</sub>. Ve studii byl pozorován vliv výkonu US (520 kHz) na odbarvení azo barviva. Rychlost odbarvení se zvýšila se zvýšením výkonu, a maxima dosáhla při výkonu 360 W (pH 5,5, počáteční koncentrace barviva 19,95 mg/l). K urychlení rozkladu barviv došlo po přidání směsi plynů Ar/O<sub>2</sub> (největší účinnost při poměru plynů 1: 0,5).

Podle (Vajnhandl S.a Le Marechal A.M. 2007) je ultrazvuk schopný odbarvit Reactiv black 5, jeho účinnost je však velmi závislá na provozních podmínkách, jako je frekvence, akustický výkon, typ snímače, pH a počáteční koncentrace barviva. Při samostatném použití US byla jeho účinnost nízká – po 6 hodinách působení dosaženo jen 50% degradace organického znečištění (odbarvení 98,7 %). Studie se zaměřila na popis vlivu jednotlivých parametrů na účinnost sonolýzy. Vliv pH byl testován při hodnotách pH 2 – 10. Nejúčinnější odbarvení bylo při hodnotě pH 2. Vliv počáteční koncentrace barviva byl prokázán: Efektivita odbarvení byla 78%, 73%, 63% a 52% pro počáteční koncentrace barviva 5, 20, 40 and 70 mg/L. Vliv výkonu a intenzity US byl také znatelný. Nejlepší výsledky byly dosaženy při hodnotách 817 kHz a 150 W. Nárůst rychlosti je nejvýraznější při nárůstu akustického výkonu.

Z výsledků vyplývá, že rychlost odbarvení se zvyšuje s rostoucí frekvencí US, akustickým výkonem a dobou ozáření. Zvýšení počáteční koncentrace barviva (v rozmezí 5 – 300 mg/l) vedlo ke snížení rychlosti odbarvení. Po mineralizaci barviva bylo měřeno TOC. Po 6 hodinách ozařování poklesla jeho hodnota z 5,4 mg/l na 2,7 mg/l (50%). Před a po aplikaci ultrazvuku byla měřena akutní toxicita na mořských bakteriích *Vibrio fischeri* was. Po 6-ti hodinovém ozařování nebyly odhaleny žádné toxické složky.

Sonolýze doposud nebyla věnována velká pozornost, především z důvodu nízké účinnosti samotného ultrazvuku, vyšší energetické náročnosti a vysokých nákladů.

## **KOMBINACE AOP**

### **4.7.5 O<sub>3</sub>/UV**

Při účinku UV záření dojde k fotorozkladu ozonu na hydroxylové radikály. V textilní odpadní vodě však dochází k absorpci UV záření na barvivech, a množství vzniklých hydroxylových radikálů se tak snižuje. Dá se proto očekávat stejný efekt odbarvení při použití O<sub>3</sub> a kombinace O<sub>3</sub>/UV. Ozon sám soutěží s organickými složkami o UV záření. Kombinace O<sub>3</sub>/UV je účinnější než samotná ozonizace v otázce odstranění CHSK (Al-kdasi A. et al., 2004).

Podle (Bes-Pia A. et al., 2003) se při použití kombinace O<sub>3</sub>/UV snížilo CHSK z původní hodnoty 200-400 mg/l během 30-ti minut na 50 mg/l, zatímco při samotné ozonizaci bylo toto snížení podstatně nižší (283 mg/l). I podle (Azbar N. et al., 2004) vede využití kombinace O<sub>3</sub>/UV k vysokému odstranění CHSK.

V (Perkowski J. a Kos L., 2003a) byly testovány na modelovém vzorku textilní vody různé kombinace AOP. Při testování kombinace O<sub>3</sub>/UV se pohybovala efektivita odbarvení mezi 88 – 98,3 %. Tato hodnota je srovnatelná s účinkem samotného ozonu. (Perkowski J. a Kos

*L., 2003b*) uvádí, že při použití  $O_3/UV$  byla odpadní voda odbarvena po 60 – 120 minutách. Spoluúčinek UV záření závisel na emisním spektru lampy.

Podle (*Couch B., 2007*) redukuje kombinace  $O_3/UV$  barviva ve vodě až o 95 % v době 1 hodiny. Zároveň dochází k mineralizaci a redukci toxicity některých barviv.

Stejně jako u ozonizace, i kombinaci  $O_3/UV$  ovlivňují vnější podmínky, jako jsou teplota, pH, koncentrace, dávky  $O_3$  a charakteristiky UV záření.

(*Kazemi M. et al., 2004*) uvádí použití  $O_3$  a  $O_3/UV$  na barvivo R 120. Výsledky ukázaly, že odbarvení při použití samotného ozonu bylo nejefektivnější při neutrálním pH. Účinek kombinace  $O_3/UV$  při odbarvení byl velmi nízký při nízkých hodnotách pH, ale při  $pH > 7$  byl již značný.

(*Shu H.-Y., Chang M.-C., 2005*) uvádí test odbarvení 6 barviv pomocí  $O_3$ ,  $UV/O_3$  a  $UV/H_2O_2$ . Testování probíhalo na azo barvivech, a sledovala se energetická efektivita při 95% odstranění barviv. Jako energeticky nejnáročnější proces se ukázal být  $UV/H_2O_2$  proces (5-11 krát více než  $UV/O_3$ ).

#### 4.7.6 $O_3/H_2O_2$ (Peroxon)

Při použití kombinace  $H_2O_2/O_3$  působí  $H_2O_2$  jako katalyzátor rozpadu ozonu na hydroxylové radikály. Rychlost reakce peroxidu s ozonem závisí na hodnotě pH. Při nízkých hodnotách pH je reakce pomalá. Při vysokém pH se peroxid rozpadá na  $HO_2\bullet$ , které způsobují rozpad ozonu. (*Staehelin J., Hoigne J., 1982*)

Článek (*Kurbus T. et al., 2003*) uvádí porovnání peroxon procesu s jinými kombinacemi. Bylo testováno použití různých kombinací na šesti reaktivních barvivech. Výsledky ukázaly, že při použití kombinace  $H_2O_2/O_3$  byla doba odbarvení v průměru 90 minut v závislosti na barvivu. Nejrezistentnější bylo barvivo Reactive Blue 220, naopak nejlépe odstranitelné bylo barvivo Reactive Yellow 15, k jeho odbarvení stačila nejkratší doba (60 minut). Obecně kombinace  $H_2O_2/O_3$  vykazala nejdelší dobu potřebnou k odbarvení, ve srovnání s  $H_2O_2/UV$  (průměrně 60 minut), a  $H_2O_2/Fe^{2+}$  (průměrně 30 minut). Odbarvování při použití  $H_2O_2/O_3$  probíhalo při  $pH=12$ . Kombinace  $H_2O_2/UV$  probíhala při  $pH=3$ . Z článku mimo jiné vyplývá, že účinek peroxon procesu je závislé na typu barviva. Účinnost procesu se odvíjí také od poměru dávky peroxidu a ozonu.

Účinek peroxon procesu při čištění textilních odpadních vod je závislý na hodnotě pH. S rostoucím pH roste i účinnost odbarvení. Tato závislost byla prokázána v několika studiích. Například (*Arslan I. Et al., 1999*) uvádí, že při  $pH= 11,5$  byla absorpce ozonu 74 %, zatímco při  $pH= 2,5$ , a při stejné koncentraci peroxidu, byla absorpce ozonu 11 %. (*Acar, E.; Ozbelge. 1996*) prokázalo, že pH má významný vliv na účinnost odstranění nejen barviv, ale také CHSK.

Kombinace  $H_2O_2/O_3$  má nižší účinnost při odstraňování CHSK, vede k menší mineralizaci látek. Podle (*Oguz E. a Keskinler B., 2007*) závisí účinnost odstranění CHSK na počáteční koncentraci barviva, jeho chemické struktuře, a době působení. Účinnost odstranění CHSK byla nižší ve srovnání s účinností  $H_2O_2/UV$ . Původní hodnoty CHSK (cca 1600mg/l) byly sníženy u barviv Reactive blue 220 a C.I. Reactive Blue 28 na



přijatelnou hodnotu (průměrně 170 mg/l). Průměrné CHSK po čištění bylo 300 mg/l. Vyšší hodnoty prokázaly, že proběhla jen částečná oxidace některých organických složek znečištění. Nevýhodou jsou vyšší investiční a provozní náklady.

(Oguz E. a Keskinler B., 2007) testoval a porovnával účinek různých oxidačních technologií při čištění odpadní vody z výroby syntetických vláken (konkrétně se jednalo o odstranění barviva Bomaplex Red CR-L.) Výsledky ukázaly, že vliv kombinace  $O_3/H_2O_2$  na odstranění CHSK byl dokonce nižší ve srovnání se samotnou ozonizací.

Z výše uvedeného plyne, že pro účinné čištění textilních odpadních vod jsou vhodnější jiné kombinované AOP.

#### 4.7.7 $O_3/US$

Studie (Tezcanli-Guyer G., Ince N.H., 2004) testovala různé koncentrace  $O_3$  v kombinaci s US při odstraňování barviva Acid orange 7. Z hodnot 10, 20, 40 a 60 g/m<sup>3</sup> při 1 hodinovém ozařování US byla jako nejúčinnější vybrána koncentrace 40g/m<sup>3</sup>. Co se týče odbarvení, v přítomnosti  $O_3$  byla rychlost odbarvení 3krát vyšší, a to v důsledku přímé reakce  $O_3$  s barvivem, a vzniklými meziprodukty oxidace (Tezcanli-Guyer G., Ince N.H., 2004). US urychluje rozpad ozonu, reakce je nepatrně rychlejší než při kombinaci  $O_3/UV$ . Ve studii bylo uvedeno také porovnání s kombinací  $O_3 + US + UV$ , která ale nevedla ke zefektivnění odbarvení. Avšak co se týká rychlosti odbarvení, je kombinace  $O_3 + US + UV$  přibližně o 25 % rychlejší.

Mineralizace organických látek při použití  $O_3/US$  byla tím větší, čím delší byla doba působení. V prvních 15 minutách byla mineralizace samotným  $O_3$ , i kombinací  $O_3/US$ , téměř totožná. Z toho plyne, že v počátcích procesu je vliv US velmi nepatrný. Z hlediska účinnosti je proces  $O_3/UV$  znatelně efektivnější, než  $O_3/US$ .

Zvýšení biodegradability (odbourání biologicky nerozložitelných, nebezpečných či toxických složek) bylo posuzováno podle poměru  $BSK_5/TOC$ . Kombinace  $O_3/US$  vedla ke zvýšení poměru z hodnoty 0 na 2,4 během 60 minut ozařování. Nejúčinnější byla kombinace  $O_3 + US + UV$ , která vedla k přeměně 45% TOC na BSK během 60 minut.

(He Z. et al., 2008) uvádí, že účinnost kombinace  $O_3/US$  je znatelně efektivnější, než jednotlivé procesy samostatně. Rychlost reakce je také vyšší ( rychlostní konstanta je vyšší o 31 %). Kombinace byla testována při odstraňování barviva Reactive blue 19. Bylo zjištěno, že rychlost mineralizace závisí na původní koncentraci barviva, pH, dávkování  $O_3$ , a intenzitou US. Barvivo bylo rozloženo na organickou kyselinu, která je snadno biologicky rozložitelná.

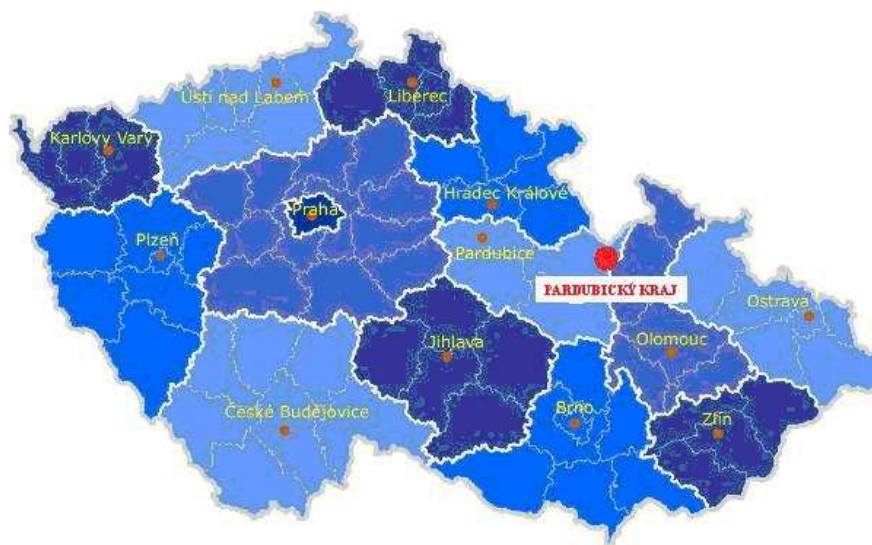
## 5. TESTOVÁNÍ OZONIZACE NA REÁLNÉ OV Z TEXTILNÍHO PODNIKU X

V rámci projektu AOP4WATER a právě probíhajícího balíku 3 byl testován účinek ozonizace na reálné odpadní vodě z textilního podniku X. Do úvodu práce uvést, že jsem pomáhala při měření a uvádím v práci naměřené hodnoty, ze kterých vyjdu při návrhu linky ČOV. Cílem měření bylo zjistit účinnost ozonizace na odstranění zabarvení a některé další parametry odpadní vody (CHSK, BSK, pH). Následující kapitola obsahuje několik částí. Jsou to:

- Poloha podniku X
- Vodní hospodářství podniku
- Textilní procesy
- Čištění OV z podniku
- Umístění ozonizace
- Technologie ozonizace a příslušenství
- Vlastní měření a vyhodnocení

### 5.1 POLOHA PODNIKU X

Textilní podnik se nachází v obci v Pardubickém kraji, okres Ústí nad Orlicí a rozkládá se v nejjižnější části Kladské kotliny. Obcí protéká řeka Březná (podrobněji hydrologie).



Obr. 32 Poloha oblasti

Textilní podnik byl založen po r. 1990. Jeho výroba byla soustředěna do nově vybudované výrobní haly vybavené moderní italskou technologií pro barvení. Výrobní hala vznikla v těsné blízkosti v té době fungujícího textilního podniku Y. Po r. 2000 došlo v důsledku importu levného textilního zboží z Číny k uzavření podniku Y. I v podniku X došlo k výraznému poklesu výroby. Podnik X v dnešní době zahrnuje 2 divize. Jedná se o divizi pletenin, která se od počátku výroby nacházela a nachází v nově vybudované výrobní hale.

Druhou částí je divize tkanin. Ta je umístěna ve starých výrobních halách podniku Y, které dnes podnik X rovněž využívá k výrobě.

Charakter výroby ve starších halách je odlišný od technologie podniku X. Podklady o starších halách a výrobě se nepodařilo získat. Diplomová práce proto v praktické části zpracovává pouze údaje z textilního podniku X – divize pletenin a vodní hospodářství a popis výroby se vztahuje také pouze k této části podniku.

## 5.2 VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ PODNIKU X

Voda pro procesní využití je odebírána z povrchového zdroje – vodního toku Březná. Zájmové území se nachází na 21 Km říčního toku. Řešený podnik je prvním znečišťovatelem. Voda není odebírána z toku přímo v místě polohy podniku, ale několik set metrů proti proudu, před zaústěním levostranného přítoku - Červenovodského potoka. Horský tok poskytuje vodu měkkou, vysoké kvality, vhodnou pro použití v procesu textilní výroby.

## 5.3 ÚDAJE O KVALITĚ SUROVÉ VODY

– tok Březná, ř. km 20,1

### 5.3.1 Parametry vody v toku

Tab. 19 Parametry toku Březná ř.km 20,1

Parametr	Hodnota (mg/l)
BSK <sub>5</sub>	1,9
CHSK	14,5
NL	5
N-NH <sub>4</sub>	0,25
N-NO <sub>3</sub>	3,8
Pc	0,14
Fe	0,15
Cl	13
SO <sub>4</sub> -	51
PAL-A	0,4
RAS	61

### 5.3.2 Hodnoty pH a tvrdost vody – tok Březná

Měření pH a tvrdosti probíhá 3 krát týdně. Účelem je kontrola jakosti procesní vody a zjištění parametrů pro vhodnou úpravu kotelní vody.

Tab. 20 Hodnoty tvrdosti a pH říční vody (Březná)

Parametr	Ph	Tvrdost (mval/l)	Tvrdost (°N)
Hodnota	6,8 – 7,4	0,3 – 0,8	0,84 – 2,24

Pozn.

1 mval/l = 2 mmol/l

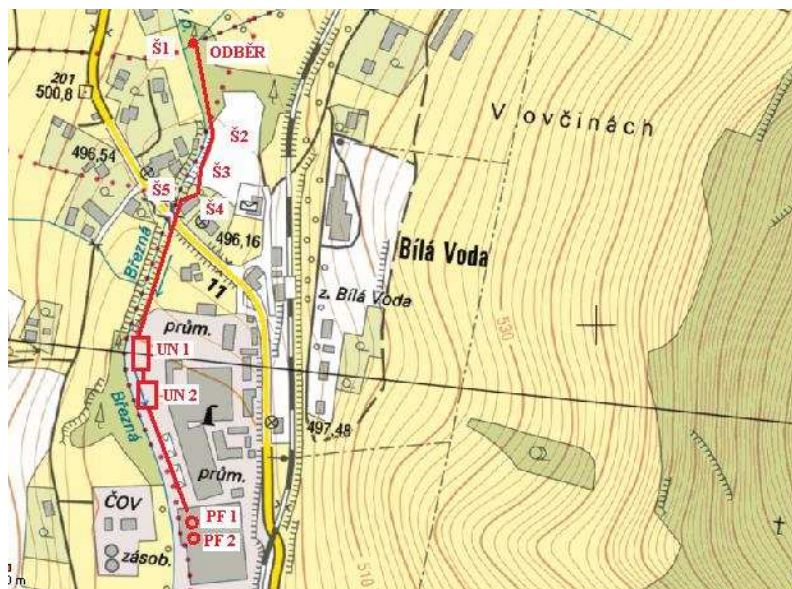
°N – stupně německé tvrdosti ( 1 °N = 2,8 x tvrdost (mval)

### **Vyhodnocení:**

Surová voda z toku Březná spadá do kategorie měkké vody. Hodnoty pH se pohybují v optimální neutrální oblasti. Pro účely využití v textilních procesech je tedy kvalita této vody velmi dobrá a vyžaduje tedy jen minimální předúpravu.

## **5.4 ODBĚR A ÚPRAVA SUROVÉ VODY Z TOKU BŘEZNÁ**

Úprava surové vody na vodu použitelnou v procesech je v případě vybraného podniku velmi jednoduchá. Surová voda je odebírána v profilu umístěném protiproudě od zájmového území na řece Březná. Profil se nachází u levostranného přítoku Červenohorský potok. („Odběr“ obr. 33). Délka tlakového přivaděče je 399 m, je na něm umístěno celkem 5 šachet (Š1 – Š5). Přivaděč ústí do podélné sběrné nádrže vody (UN 1), která slouží jako usazovací. Objem nádrže činí 600 m<sup>3</sup>. Tato nádrž je potrubím propojena s druhou sedimentační nádrží (UN 2) o objemu 750 m<sup>3</sup>. Sedimentační nádrže slouží k oddělení nerozpuštěných látek, které jsou ve vodě obsaženy při vyšších průtocích. V případě vysokého zákalu vody je možné pro flokulaci znečištění dávkovat PAX (polyaluminiumchlorid). Přípravek vytváří i za nízkých teplot velké, dobře separovatelné vločky. V současné době se jeho dávkování v podniku již nepoužívá. Velký objem obou nádrží pro jeden podnik je dán úbytkem textilní výroby oproti době výstavby systému zásobení.



Obr. 33 Schéma systému zásobení vodou pro procesní účely

Voda odsazená a akumulovaná v nádržích je čerpána přímo do výrobní divize. Vstupní hala divize je vybavena zařízeními pro nakládání s čistou i odpadní vodou. Slouží zároveň i jako čerpací stanice. Jsou zde osazena 4 čerpadla surové vody (obr. 34), která přivádí vodu z druhé usazovací nádrže (UN 2) na další stupeň předčištění – pískovou filtraci.



Filtrace (obr. 35) sestává ze 2 pískových filtrů a tvoří poslední stupeň úpravy. Odfiltrovaná voda je vedena do tepelné rekuperační nádoby.



Obr. 34 Čerpadla surové vody



Obr. 35 Pískové filtry

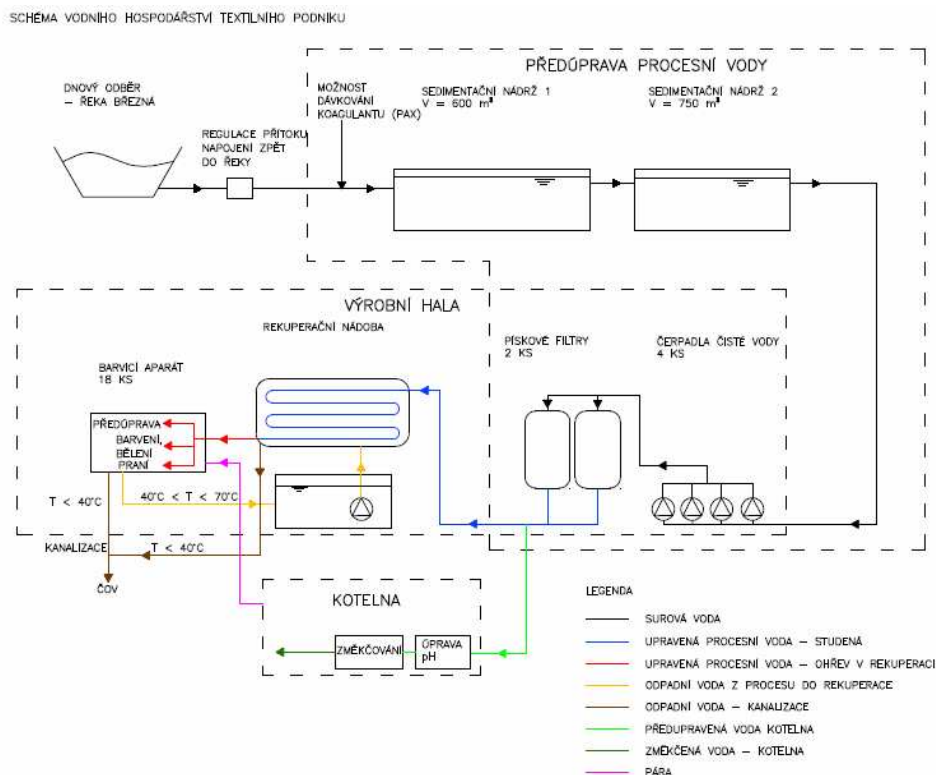
V procesu textilního barvení (předúprava, barvení a praní) se teplota procesní vody pohybuje v rozmezí 30 – 90 °C. K využití tepla odpadní vody je ve vstupní hale nainstalována rekuperační nádoba (obr. 36 ). Čistá voda odtéká z filtrů, a v rekuperaci přejímá teplo od vody odpadní, která měla při vypouštění z barvicího aparátu dostatečnou teplotu a nebyla proto hned vypuštěna do kanalizace. Předehřátá voda z rekuperace je odváděna přímo do barvicích strojů, kde je využívána pro barvení a všechny procesy barvení doprovázející.



Obr. 36 Rekuperační nádoba

Voda využitá v procesu je vypouštěna z barvicího aparátu. Stroj má dva vývody. Jeden ústí přímo do kanalizace, druhý vede do podzemní akumulární nádrže teplých vod. Vody, jejichž teplota je v rozmezí 30 – 70 °C jsou vypouštěny do této nádrže a následně čerpány přes rekuperační zařízení, kde předávají teplo čisté vodě, do kanalizace. K těmto „teplým“ vodám patří všechny vody z barvicí lázně a některé vody z praní (vše je závislé na

barveném materiálu a použité teplotě). K rozlišení vod slouží teplotní čidla, kterými jsou barvicí aparáty vybaveny.



**Obr. 37 Schéma nakládání s vodou – divize pleteniny**

Malé procento upravené vody (cca 50 m<sup>3</sup>/den) je odebíráno za pískovými filtry pro další úpravu vody do kotlů. Právě pro tento účel slouží pravidelné měření pH a tvrdosti přitékající vody. Voda pro kotle má přísné požadavky a podle aktuálního složení nátokové vody je upravováno pH a probíhá změkčování dávkováním chemikálií.

## 5.5 TEXTILNÍ PROCESY V PODNIKU

### MOKRÉ PROCESY

V podniku neprobíhá výroba textilií. Hotové textilie jsou dováženy zákaznickými firmami k zušlechťovacím úpravám.

Textilní firma se zaměřuje v rámci mokrých procesů na textilní tisk a barvení a s tím spojené operace. Používané mokré procesy jsou tedy:

- Předúprava materiálu
- Bělení materiálu
- Barvení materiálu
- Praní materiálu

## 5.6 DIVIZE PLETENIN

Divize je zaměřena na předúpravu, barvení, bělení a praní pletených materiálů. Pro všechny procesy jsou využívány diskontinuální italské barvicí stroje (jet) (obr. 38). Hala je vybavena celkem 18 barvicími aparáty o různých kapacitách.



Obr. 38 Barvicí stroje divize pleteniny

### 5.6.1 Upravované materiály

Jedná se o materiály:

- 100% celulózové materiály (bavlna, viskóza, len, ...)
- acetátové hedvábní
- syntetické materiály (PES, PAD, PAN, POP, PUR)
- směšové materiály (ba/PES, ba/PAN, Vs/PAD, ...)
- modifikované materiály (TACTEL, TACTEL/STRATA, TACTEL/PRISMA, SUPPLEX, LYOCCELL, TENCEL, COOLMAX)



Obr. 39 Surové pleteniny



Obr. 40 Šití rukávů

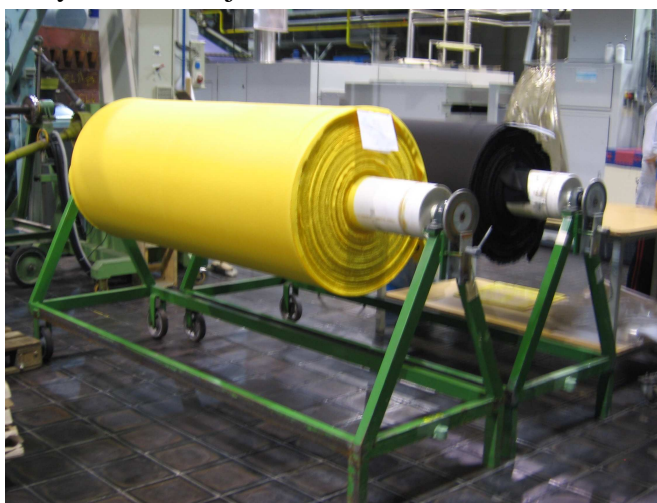


Kapacitní možnosti úpravy jsou 8 – 9 tun pleteniny za den. V současnosti je však průměrná denní produkce 2,5 t /den (50 tun měsíčně).

### 5.6.2 Popis vlastního procesu barvení

Textilie pro barvení je dodána ve formě role. Před zahájením barvicích procesů je pletenina sešita a získává podobu rukávce. V této formě je vkládána do barvicích strojů. Celý proces barvicí či bělicí úpravy probíhá v jednom aparátu. Bavlna je barvena na jetu za atmosférického tlaku, pro syntetické materiály je barvení tlakové. Textilie je vložena do pracovního bubnu stroje. Stroje se plní vodou a potřebnými chemikáliemi. Prvním krokem je vždy předúprava materiálu pro barvení. Předúprava slouží k odstranění nežádoucího znečištění z materiálu a dodání požadovaných vlastností, které zefektivní následné barvení či bělení. Po ukončení jednoho procesu je vždy obsah vody v bubnu celý vypuštěn a nahrazen čistou vodou pro další krok úpravy. Po předpravě dochází k samotnému barvení a bělení. Množství cyklů „vypouštění a opětovné napouštění“ je závislé na typu barveného materiálu, použitém barvivu, požadovaném odstínu atd. Po dokončení procesu barvení probíhá vypírání přebytečného neulpěného barviva v několika cyklech. Celý proces trvá několik hodin, opět se odvíjí od materiálu a použité chemie.

Postup při barvení zakázky probíhá logicky od nejsvětlejších po nejtmavší odstíny, takže stroje není třeba při přechodu na jinou barvu oplachovat. Stroje jsou využívány pro všechny typy materiálů a barev, vše se odvíjí od aktuálních zakázek. Pro bělení jsou používány přednostně vyhrazené stroje.



Obr. 41 Obarvená textilie

### 5.6.3 Spotřeba vody a její znečištění

Spotřeba vody při celém procesu barvení se odvíjí od barveného materiálu a požadované barvy. Pro jednotlivé druhy materiálů a barvy jsou zpracovány „Receptury materiálů“. Každá receptura obsahuje:

- Barvený materiál
- Název požadované barvy
- Rozpis všech stupňů zpracování materiálu (předprava – praní)



- Pro každý stupeň používané přísady( barviva a jiné prostředky) a jejich přesné dávkování
- Teplotu lázně v každém stupni a její časový nárůst a pokles
- Dobu jednotlivých procesů

Množství vody pro každý proces je udáváno poměrem hmotnosti pleteniny a vody. Pro všechny cykly je poměr stanovený na hodnotu 1 : 10 (odpovídá 10 l vody na 1 Kg pleteniny). Jednoznačné množství vody spotřebované při jednom procesu se však nedá stanovit. Receptury se liší pro každý materiál a barvivo a v podniku se jich využívá velká řada. Stejně tak jednoznačné znečištění z výroby není možné stanovit, odvíjí se také od konkrétní receptury.

### Používaná barviva

Tab. 21 Barviva používaná v podniku

Typ barviva	Zastoupení
Reaktivní barviva	> 95 %
Saturnová	< 5%
Disperzní	
Kyselá	
Kypová	
Sírná	

### Chemikálie používané při v procesech

Proces předúpravy opět závisí na barveném materiálu. V případě časté bavlny je přidáván vždy NaOH (10%) a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (35%) + stabilizátor peroxidu. Pro syntetické materiály jsou dávkovány dispergáty, egalizační činidla a jiné sloučeniny. Při samotném procesu barvení bavlny je vždy dávkován NaCl pro podporu přilnutí barviva na textilií v dávkách 20 – 50 mg/l. Používá se celá řada stabilizátorů barviv. Fixace barviva je dosažena jeho aplikací při vysoké teplotě. Barvení bavlny probíhá při teplotách pod 100 °C, syntetické materiály jsou barveny při teplotách vyšších (i > 120 °C). Před vypouštěním OV do kanalizace po skončení každého cyklu procesu je voda vždy ochlazená na 70 °C, vyšší teplota z aparátu neodchází. Jak již bylo zmíněno, stroje jsou vybaveny dvěma odtoky. Podle naměřené teploty lázně je OV vypuštěna buď do kanalizace (< 30°C), nebo do podzemní akumulární nádrže (> 30°C) k rekuperaci.

Z uvedeného plyne, že vznikající odpadní vody má vysoký stupeň zabarvení, vysoké hodnoty CHSK a vysokou teplotu. Do kanalizace se nedostává voda s vyšší teplotou než 30°C.

Průměrná denní spotřeba vody je uvedena v kapitole 6.

### SUCHÉ PROCESY

- Sušení a fixace
- Postřihování

- Broušení – tkaniny a úplety, vylepšení omaku
- Sanforizace – pleteniny a některé tkaniny, zlepšení omaku, lesku, rozměrové stability
- Kalandrování – pro úplety i tkaniny, hladký omak, lesklý vzhled
- Tamblování – lněné materiálu, měkký omak
- Česání
- Krepování

## 5.7 ČIŠTĚNÍ OV Z PODNIKU

Textilní podnik má v areálu čistírnu odpadních vod. V současné době je čistírna v majetku obce Červená Voda, provozovatelem je samotný podnik.

### 5.7.1 Zdroje OV a kapacita ČOV Červená Voda

ČOV byla vybudována pro dva vedle sebe existující textilní podniky (X a Y). V důsledku úpadku textilní výroby ukončil po r. 2000 starší z podniků svou činnost a jeho prostory a haly v současné době využívá textilní podnik X.

V současné době je na ČOV přiváděna veškerá odpadní voda z výroby staré i nové haly (procesní i splašková) a dále splaškové odpadní vody z obce Červená Voda. Poměr průmyslových a splaškových OV dosahuje 70 : 30.

Čistírna je navržena jako chemicko – biologická čistírna k čištění průmyslových odpadních vod. Popis technologie je popsán dále.

Kapacita čistírny	6000 m <sup>3</sup> /den.
Doba zdržení v systému	10 hodin (při Q = 6000 m <sup>3</sup> /den)
Q <sub>hmax</sub>	380 m <sup>3</sup> /hod
Přepočet na EO	26 135 EO

V současné době je průměrný přítok OV 1500 m<sup>3</sup>/den. Tento stav je dán značným úbytkem textilní výroby a úpadkem jednoho z dřívějších textilních podniků. Čistírna je tedy pro dnešní poměry předimenzovaná.

## 5.8 TESTOVÁNÍ OZONIZACE

### 5.8.1 Umístění ozonizace

Ozonizace byla nainstalována na přítoku procesní OV z textilního podniku, za objektem mechanického předčištění (jemné česle). V rámci projektu AOP4WATER je ozonizace a její kombinace s jinými technologiemi AOP zkoumána právě na přítoku surové odpadní vody, pro zjištění degradace barviv a zvýšení biodegradability.



Obr. 42 Přítok OV z podniku – místo odběru

Místo odběru bylo zvoleno v přítokovém žlabu z důvodu dobré dostupnosti a vhodné plochy pro umístění ozonizační technologie. Odběr vody z vyrovnávací nádrže nebyl možný.

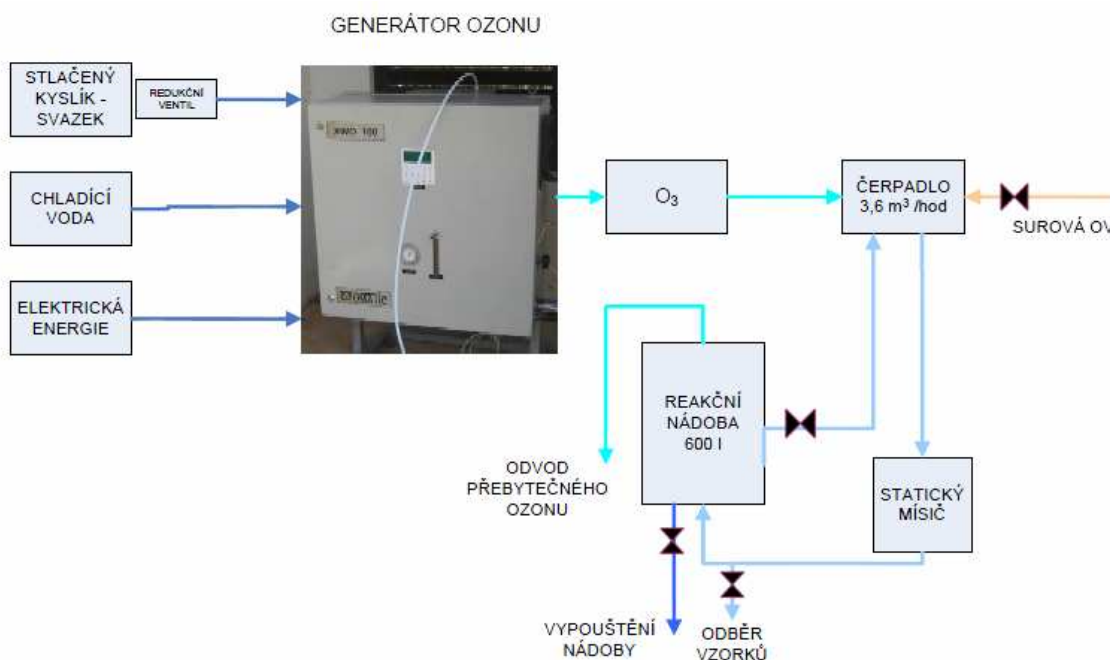
Nevýhodou odpadních vod z podniku (a odpadních vod z veškeré textilní výroby) je neustále se měnící množství a charakter znečištění. V průběhu dne se mění kvalita vody od silně znečištěné a zabarvené z procesu barvení až po téměř čirý přítok z procesu praní. Z důvodu souběžné činnosti několika strojů a případného současného vypouštění z více strojů v tutéž dobu nebylo možné určit jednoznačný původ natékající odpadní vody. Další překážkou pro zjištění původu OV byla rekuperace tepla z odpadních vod (popis výše), která u vod s vyšší teplotou než 70 °C způsobovala po vypuštění z aparátu zachycení vody ve vyrovnávací nádrži a poté v rekuperační nádobě před vypuštěním na ČOV.

S pomocí obsluhy ČOV, která má s rozložením přítoku a znečištění na ČOV mnohaleté zkušenosti a po spolupráci s divizí pleteniny podniku X byly vytipovány okamžiky vypouštění silně znečištěných vod. Tyto vody byly odebrány a v několika měřeních proběhlo testování efektu ozonizace na odbarvení a některé další parametry. Vždy se jednalo o reálnou směsnou odpadní vodu z různých procesů barvení (předprava, barvení, praní).

## 5.8.2 Technologie ozonizace a příslušenství

Celý systém ozonizace sestává z několika komponentů. Základem je generátor ozonu. Na něj navazují další zařízení, která zajišťují vše od přípravy pracovního plynu, přes dodávku odpadní vody a rozpouštění ozonu ve vodě. Jednotlivé součásti systému jsou:

- Generátor ozonu
- Svazek stlačeného kyslíku
- Čerpadlo
- Statický mísič
- Reakční nádoba
- Potrubí a armatury



Obr. 43 Schéma prvků systému ozonizace

### Generátor ozonu

Jedná se o 2 poloprovozní jednotky WEDECO SWO 100 a GSO 10. Dodavatelem ozonizační jednotky je DISA, v.o.s. Poloprovozní jednotky jsou určeny pouze k provozu pod neustálým dohledem. Součástí není bezpečnostní zařízení, analyzátor ozonu v plynu, analyzátor ozonu ve vodě ani destruktor. Z tohoto důvodu nebylo možné určit efektivitu přestupu ozonu do vody měřením koncentrace zbytkového ozonu.

Princip generace ozonu je popsán v kapitole 3.5. K produkci ozonu je třeba do generátoru dodat plynný kyslík. Na vstupu do generátoru dochází k redukci tlaku kyslíku na hodnotu 0,5 barů. Jedná se o pracovní tlak, na který jsou kalibrovány křivky produkce ozonu. Při generaci ozonu je odebírán elektrický proud. Velká část elektrické energie se v generátoru přeměňuje na teplo, generátor je nutně v průběhu provozu zařízení neustále chladit. Jako chladicí médium se využívá protékající voda odebíraná z veřejného vodovodu. Velikost potřebného průtoku chladicí vody se odvíjí od její teploty.



Obr. 44 Ozonizační jednotka SWO 100



Obr. 45 Pohled na generátor ozonu a rozvody

## Kyslíkový svazek

Kyslíkový svazek se stlačeným kyslíkem měl kapacitu  $150 \text{ m}^3 \text{ O}_2$ . Na výstupu byl upevněn redukční ventil, kde probíhala regulace na výstupní tlak 1,5 barů. Kyslík byl veden trubicí do ozonizátoru, kde na vstupu došlo k další redukci tlaku – na provozní hodnotu 0,5 baru. Dodavatelem kyslíku je Linde gas, a.s.



Obr. 46 Kyslíkový svazek Linde



Obr. 47 Čerpadlo LOWARA

## Čerpadlo a statický mísič

Bylo použito čerpadlo LOWARA. V našich podmínkách bylo čerpané množství  $3,6 \text{ m}^3/\text{hod}$ . V místě výtlačku je čerpadlo opatřeno injektorem pro dávkování ozonu (úzká trubička na výtlačku – modře). Po nadávkování ozonu do proudu vody došlo k dokonalému promísení ozonu ve statickém mísiči Statiflo. Mísič zajišťuje vysokou účinnost rozpouštění ozonu ve vodě. Čerpadlo i statický mísič byly součástí dodávky ozonizace.





Obr. 48 Statický míšič STATIFLO



Obr. 49 Reakční nádoba

### Reakční nádoba

Reakční nádoba z nerezové oceli o objemu 600 l byla rovněž součástí dodávky ozonizace. Vody do kontraktoru vstupují bezprostředně po smísení s ozonem ve statickém míšiči. Reakční nádoba svým objemem zajišťuje kontaktní dobu mezi ozonem a odpadní vodou, kdy dochází k rozkladným procesům působením  $\text{OH}\cdot$  radikálů (výpočty kontaktní doby dále). Poloprovozní systém nebyl vybaven analyzátory ozonu ve vodě, čidly ozonu v plynu, ani destruktozem. Z důvodu umístění jednotky ve venkovním prostředí bylo nebezpečí otravy ozonem malé, přebytečný plyn byl z kontraktoru odváděn trubicí do dostatečné vzdálenosti od místa měření.



Obr. 50 Umístění systému ozonizace na přítoku OV

### 5.8.3 Způsob měření

Po vytipování vhodného přítoku byla odpadní vody čerpána do reakční nádrže (celkový objem 600 l). Po napuštění plného objemu bylo čerpání z přítokového žlabu ukončeno. Mezi čerpadlem a reakční nádobou byl vytvořen uzavřený okruh, kde byla voda z reakční

nádrže recirkulována. Na injektor čerpadla jsme napojily přívodní hadičku ozonu generovaného v ozonizační jednotce.

Po spuštění měření probíhala recirkulace odpadní testované vody v okruhu za současného kontinuálního dávkování ozonu v místě injektoru čerpadla. Při každém cyklu tak byla do OV nadávkována předem vypočtená a nastavená koncentrace ozonu. Objem reakční nádoby zajišťoval při daném průtoku čerpadla stálou dobu zdržení (a tedy kontaktní dobu s nadávkováním ozonem). V časových intervalech odpovídajících délce jednoho cyklu byly odebírány vzorky pro rozbor a do Erlenmayerových baněk vzorky pro vizuální vyhodnocení průběhu odbarvení. Celkové množství ozonu a doba působení byly určovány podle průběhu odbarvení.

Odebrané vzorky byly zajištěny ve vzorkovnicích s označením. Analýzu vzorků a stanovení vybraných ukazatelů provedla Orlická laboratoř s.r.o. v České Třebové.

## 5.8.4 Dávkování ozonu

Při každém měření byla nastaveno dávkování ozonu v mg/l odpadní vody. Prvním krokem při nastavení dávkování bylo stanovení koncentrace vyrobeného ozonu k.

Při nastavení koncentrace hrají roli dvě proměnné. Jsou to spotřeba elektrické energie (W) a objemový průtok plynu (m<sup>3</sup>/hod). Pro výpočet koncentrace ozonu při daném objemovém průtoku plynu a spotřebě elektrické energie se využívá Křivek charakteristiky. Z křivky se podle průtoku plynu a spotřeby energie odečítá koncentrace ozonu v 1m<sup>3</sup> vyrobeného pracovního plynu. Z důvodu stárí použitých ozonizačních jednotek byla koncentrace při daném nastavení nižší než udává graf. Při montáži zařízení byly proto přeměřeny skutečné koncentrace ozonu v produkovaném pracovním plynu pomocí analyzátoru ozonu v plynu. Požadované koncentrace ozonu je možné dosáhnout různou kombinací hodnot spotřeby energie a objemového průtoku plynu. Při návrhu ozonizace je proto možné měnit tyto dva parametry tak, aby náklady na ozonizaci byly co nejnižší a vycházet z aktuálních cen elektrické energie a nákladů za m<sup>3</sup> pracovního plyn. Optimální koncentrace ozonu při použití kyslíku je 10 – 13 hmotnostních %.

### Výkonnost SWO 100 – Kyslík

#### Průtok kyslíku:

$$Q_{kmax} = 1,5 \quad m^3/hod$$

#### Výkon ozonizátoru

$$P_{max} = 1000 \quad W$$

### Koncentrace ozonu k (g/m<sup>3</sup> vstupního plynu) - naměřeno

Průtok kyslíku (%)	Spotřeba energie(%) / Průtok kyslíku Q <sub>k</sub> (m <sup>3</sup> /hod)	30	50	60	80	100
33,30%	0,5	36	60	70	93	116
66,70%	1	20	35	40	55	73

Čerpané množství  
Dávka ozonu

$$Q = 3,6 \quad m^3/hod$$

$$c = \frac{k \cdot Q_k}{Q} [mg / l]$$

### Dávka ozonu c (mg/l)

	spotřeba E (%)	30	50	60	80	100
<b>Průtok kyslíku (%)</b>	<b>Spotřeba energie(W)/ Průtok kyslíku (m<sup>3</sup>/hod)</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>
<b>33,30%</b>	0,5	5,0	8,3	9,7	12,9	16,1
<b>66,70%</b>	1	5,6	9,7	11,1	15,3	20,3

### Výkonnost GSO 10 - Kyslík

#### Průtok kyslíku:

$$Q_{kmax} = 0,3 \quad m^3/hod$$

#### Výkon ozonizátoru

$$P_{max} = 410 \quad W$$

### Koncentrace ozonu (g/m<sup>3</sup>)

	<b>Spotřeba energie(w)/ Dávka kyslíku (m3/hod)</b>						
<b>Dávka kyslíku (%)</b>		<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>310</b>	<b>360</b>	<b>410</b>
46,00%	<b>0,3</b>	21,2	36,4	57,1	70,9	79,6	87,8
23,00%	<b>0,15</b>	27,9	52,6	76	97,3	107,9	117,4

#### Průtok čerpadlem

$$Q = \boxed{3,6} \quad m^3/hod$$

#### Dávka ozonu

$$c = \frac{k \cdot Q_k}{Q} [mg / l]$$

### Dávka ozonu c (mg/l)

	Spotřeba energie(W)/ Dávka kyslíku (m3/hod)						
<b>Dávka kyslíku (%)</b>		<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>310</b>	<b>360</b>	<b>410</b>
<b>16,70%</b>	0,3	1,8	3,0	4,8	5,9	6,6	7,3
<b>33,30%</b>	0,15	1,2	2,2	3,2	4,1	4,5	4,9

### Kontaktní doba při jednom okruhu:

$$V = 600 \quad l = 0,6 \quad m^3 \quad \text{Objem reakční nádoby}$$

$$Q = 3,6 \quad m^3/hod \quad \text{Průtok čerpadlem}$$

$$T = \frac{V_R}{Q}$$

$$T = 10 \quad min$$



## 5.8.5 Vlastní měření Ozonizace

### Testování 1

Datum:	23.11.2011
--------	------------

Dávka ozonu/1 okruh	8,3	mg/l
Přívod kyslíku	0,5	m <sup>3</sup> /hod
Spotřeba energie	500	W
Kontaktní doba při 1 okruhu:	10	min
Poznámka	Zokruhování	
Objem vzorku:	1	l

Tab. 22 Testování 1- naměřené hodnoty

Odběr vzorků										
Kontaktní doba(min)	0	20	40	50	60	80	90	100	110	120
Ukazatel										
Označení vzorku	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Nadávkový ozon (g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> OV)	0	16,6	33,2	41,5	49,8	66,4	74,7	83	91,3	99,6
pH	10,9	10,7	10,6	10,6	10,6	10,5	10,5	10,4	10,4	10,4
CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l)	298	295	267	256	261	267	284	273	258	261
RL (mg/l)	1840	-	-	-	-	-	-	-	-	1810
RAS(mg/l)	1610	-	-	-	-	-	-	-	-	1670
NL (mg/l)	24	-	-	-	-	-	-	-	-	16
Absorbance 436 nm	0,193	0,135	0,104	0,091	0,086	0,077	0,076	0,071	0,070	0,071
Absorbance 525 nm	0,175	0,098	0,075	0,068	0,062	0,057	0,059	0,055	0,054	0,057
Absorbance 620 nm	0,231	0,110	0,075	0,066	0,061	0,056	0,056	0,052	0,052	0,053



Obr. 51 Vizuální posouzení průběhu odbarvení – testování 1

## Testování 2

Datum:	23.11.2011
--------	------------

Dávka ozonu/1 okruh	16,1	mg/l
Přívod kyslíku	0,5	m <sup>3</sup> /hod
Spotřeba energie	1000	W
Kontaktní doba při 1 okruhu:	10	min
Poznámka	Zokruhování	
Objem vzorku:	1	l

Tab. 23 Testování 2 – naměřené hodnoty

Odběr vzorků						
Kontaktní doba(min)	0	20	40	60	80	100
Ukazatel						
Označení vzorku	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	
Nadávkový ozon (g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> OV)	0	32,2	64,4	96,6	128,8	-
pH	10,6	10,8	10,5	10,2	9,7	-
CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l)	781	978	893	871	871	-
RL (mg/l)	926	-	-	-	1000	-
RAS(mg/l)	620	-	-	-	638	-
NL (mg/l)	58	-	-	-	31	-
Absorbance 436 nm	0,5578	0,5459	0,4067	0,3497	0,3128	-
Absorbance 525 nm	0,3854	0,3074	0,2828	0,2253	0,1937	-
Absorbance 620 nm	0,4633	0,3333	0,2143	0,1574	0,1271	-



Obr. 52 Vizuální posouzení průběhu odbarvení – testování 2

## Testování 3

Datum:	29.11.2011
--------	------------

Dávka ozonu/ 1 okruh	7,3	mg/l
Přívod kyslíku	0,3	m <sup>3</sup> /hod
Spotřeba energie	410	W
Kontaktní doba při 1 okruhu:	10	min
Poznámka	Zokruhování	
Objem vzorku:	1	l

Tab. 24 Testování 3 – Naměřené hodnoty

Odběr vzorků								
Kontaktní doba(min)	0	20	40	60	80	100	120	140
Ukazatel								
Označení vzorku	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
Nadávkový ozon (g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> OV)	0	14,6	29,2	43,8	58,4	73	87,6	102,2
pH	11,1	11,3	11,2	11,2	11,1	10,9	10,7	10,7
BSK <sub>5</sub>	110	120	140	120	120	120	130	120
CHSK <sub>Cr</sub>	657	478	572	520	511	481	554	464
RAS(mg/l)	2710	-	-	1660	-	-	1580	-
Absorbance 436 nm	0,4863	0,5356	0,5133	0,4938	0,4787	0,4665	0,4525	0,4515
Absorbance 525 nm	0,5766	0,325	0,2797	0,2479	0,2257	0,2135	0,2011	0,198
Absorbance 620 nm	0,4018	0,2235	0,1724	0,1426	0,1269	0,1173	0,1106	0,1089



Obr. 53 Vizuální posouzení průběhu odbarvení – testování 3

## Testování 4

Datum:	29.11.2011
--------	------------

Dávka ozonu/ 1 okruh	7,3	mg/l
Přívod kyslíku	0,3	m <sup>3</sup> /hod
Spotřeba energie	410	W
Kontaktní doba při 1 okruhu:	10	min
Poznámka	Zokruhování	
Objem vzorku:	1	l

Tab. 25 Testování 4 – naměřené hodnoty

Odběr vzorků								
Kontaktní doba(min)	0	20	40	60	80	100	120	140
Ukazatel								
Označení vzorku	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8
Nadávkový ozon (g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> OV)	0	14,6	29,2	43,8	58,4	73	87,6	102,2
pH	10,1	9,78	9,53	9,14	8,62	8,25	7,88	7,5
BSK <sub>5</sub>	94	95	91	80	86	110	86	99
CHSK <sub>Cr</sub>	511	486	458	464	450	447	436	424
RAS(mg/l)	774	-	-	742	-	-	768	-
Absorbance 436 nm	0,2624	0,1477	0,1108	0,093	0,08	0,075	0,0669	0,0643
Absorbance 525 nm	0,2144	0,1055	0,0679	0,0509	0,039	0,0349	0,0292	0,0257
Absorbance 620 nm	0,134	0,0627	0,041	0,0314	0,0255	0,023	0,0182	0,0181



Obr. 54 Vizuální posouzení průběhu odbarvení – testování 4

## Testování 5

Datum:	30.11.2011
--------	------------

Dávka ozonu/ 1 okruh	7,3	mg/l
Přívod kyslíku	0,3	m <sup>3</sup> /hod
Spotřeba energie	410	W
Kontaktní doba při 1 okruhu:	10	min
Poznámka	Zokruhování	
Objem vzorku:	2	l

Tab. 26 Testování 5 – naměřené hodnoty

Odběr vzorků							
Kontaktní doba(min)	0	20	40	60	80	100	120
Ukazatel							
Označení vzorku	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7
Nadávkovaný ozon (g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> OV)	0	14,6	29,2	43,8	58,4	73	87,6
pH	10,5	10,4	10,3	10,3	10,2	10,1	10
BSK <sub>5</sub>	210	210	200	200	210	190	210
CHSK <sub>Cr</sub>	856	829	797	784	773	781	770
RAS(mg/l)	1770	-	-	1760	-	-	1670
Absorbance 436 nm	0,5293	0,3825	0,3433	0,3373	0,3245	0,3155	0,3211
Absorbance 525 nm	0,5684	0,2971	0,2261	0,2114	0,2004	0,2018	0,1972
Absorbance 620 nm	0,1884	0,1603	0,1486	0,146	0,1414	0,1403	0,1399



Obr. 55 Vizuální posouzení průběhu odbarvení – testování 5

Součástí diplomové práce není vyhodnocení průběhu jednotlivých testování. Z důvodu rozsahu jsou naměřené hodnoty zprůměrnovány a graficky znázorněny pro účel návrhu ozonizace v kapitole 6.

## Vyhodnocení průměrných hodnot odstranění znečištění

Tab. 27 Průměrné hodnoty účinnosti ozonizace při odstranění vybraných parametrů (%)

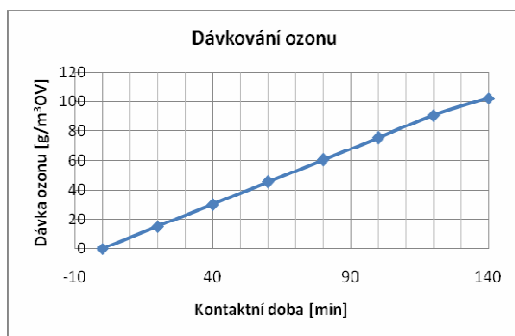
Kontaktní doba(min)		0	20	40	60	80	100	120	140
Parametr									
BSK <sub>5</sub>	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0,00	-9,09	-27,27	-9,09	-9,09	-9,09	-18,18	-9,09
	4	0,00	-1,06	3,19	14,89	8,51	-17,02	8,51	-5,32
	5	0,00	0,00	4,76	4,76	0,00	9,52	0,00	
Průměr odstranění		0,00	-3,38	-6,44	3,52	-0,19	-5,53	-3,22	-7,21
CHSK <sub>Cr</sub>	1	0,00	1,01	10,40	12,42	10,40	8,39	13,42	12,42
	2	0,00	-25,22	-14,34	-11,52	-11,52	-	-	-
	3	0,00	27,25	12,94	20,85	22,22	26,79	15,68	29,38
	4	0,00	4,89	10,37	9,20	11,94	12,52	14,68	17,03
	5	0,00	3,15	6,89	8,41	9,70	8,76	10,05	
Průměr odstranění		0,00	2,21	5,25	7,87	8,55	14,12	13,46	19,61
Absorbance436 nm	1	0,00	30,46	46,12	55,33	60,19	63,44	63,65	63,44
	2	0,00	2,13	27,09	37,31	43,92	-	-	-
	3	0,00	-10,14	-5,55	-1,54	1,56	4,07	6,95	7,16
	4	0,00	43,71	57,77	64,56	69,51	71,42	74,50	75,50
	5	0,00	27,73	35,14	36,27	38,69	40,39	39,33	-
Průměr odstranění		0,00	18,78	32,11	38,38	42,78	44,83	46,11	48,70
Absorbance 525 nm	1	0,00	43,82	57,21	64,36	67,28	68,36	68,99	67,51
	2	0,00	20,24	26,62	41,54	49,74	-	-	-
	3	0,00	43,64	51,49	57,01	60,86	62,97	65,12	65,66
	4	0,00	50,79	68,33	76,26	81,81	83,72	86,38	88,01
	5	0,00	47,73	60,22	62,81	64,74	64,50	65,31	
Průměr odstranění		0,00	41,24	52,77	60,39	64,89	69,89	71,45	73,73
Absorbance 620 nm	1	0,00	52,45	67,42	73,75	75,66	77,27	77,66	77,18
	2	0,00	28,06	53,74	66,03	72,57	-	-	-
	3	0,00	44,38	57,09	64,51	68,42	70,81	72,47	72,90
	4	0,00	53,21	69,40	76,57	80,97	82,84	86,42	86,49
	5	0,00	14,92	21,13	22,51	24,95	25,53	25,74	-
Průměr odstranění		0,00	38,60	53,76	60,67	64,51	64,11	65,57	78,86
Průměrná dávka O3		0	15,1	30,2	45,3	60,4	75,5	90,6	102,2
Průměrné pH		10,6	10,6	10,4	10,3	10,0	9,9	9,7	9,1

## Dávka ozonu

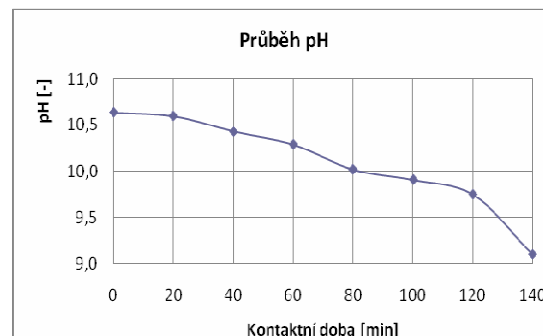
Dávka ozonu s časem lineárně narůstá, celkové množství nadávkovaného ozonu po ukončení testování se pohybovalo okolo hodnoty 100 g/m<sup>3</sup> OV. Při dalším zvyšování dávky už nedocházelo k významným změnám vzorku.

## pH

pH odpadní vody se u všech vzorků pohybovalo nad hodnotou 10. Tato úroveň je pro aplikaci ozonu velmi vhodná, při zásaditém pH dochází ke generaci hydroxylových radikálů. Během ozonizace pH u všech vod vyjma testování 4 jen mírně klesalo. U testování 4 byl pokles výraznější (z původní hodnoty pH 10,1 na pH 7,5).



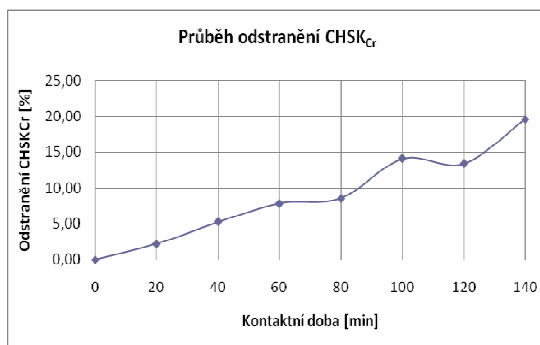
Obr. 56 Dávkování ozonu



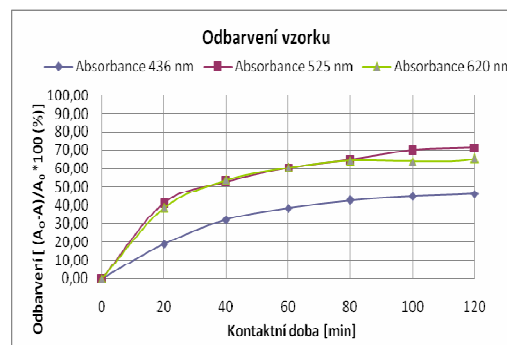
Obr. 57 Průběh hodnoty pH (průměr)

## BSK<sub>5</sub>

Ozonizace neměla na hodnotu BSK ve všech testech výrazný vliv. Docházelo k mírnému kolísání hodnoty, průměrně mělo BSK vyšší tendenci se mírně zvyšovat. Předpoklad zvýšení biodegradability tedy ozonizace nesplnila. Pravděpodobně by bylo nutné aplikovat vyšší dávky ozonu, kdy už by nedocházelo k dalšímu odbarvení, ale k rozkladu CHSK na biodegradabilní složky.



Obr. 58 Průběh odstranění CHSK<sub>Cr</sub>



Obr. 59 Průměrné odbarvení vzorků

## CHSK<sub>Cr</sub>

Odstranění CHSK bylo více patrné. Ozonizace způsobila rozklad části chemického znečištění. Průměrné odstranění po celkové dávce ozonu (100 g /m<sup>3</sup> OV) se pohybovalo okolo 20 %. Vznik toxických meziproduktů nebyl prověřován.

## Odbarvení

Míra odbarvení byla závislá na složení okamžitého přítoku. Zabarvení bylo měřeno jako hodnota absorbance při 3 vlnových délkách. Některá barviva vykazovala vyšší rezistenci (vzorek 2 a 3), odvíjející se od jejich chemické struktury. Průměrná hodnota odbarvení se pohybovala okolo 70 %. Pro zvýšení účinnosti by bylo vhodné aplikovat kombinaci O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## 6. STUDIE NÁVRHU ZNOVUVYUŽITÍ ČIŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD V TEXTILNÍ VÝROBĚ

### 6.1 VSTUPNÍ ÚDAJE

#### 6.1.1 Identifikační údaje stavby

Název:	Návrh znovuuzžití čištěných odpadních vod v textilním podniku X
Stupeň:	Studie
Kraj:	Pardubický
Okres:	Ústí nad orlicí

Z důvodu přání podniku zůstat v anonymitě nejsou uvedeny podrobnější údaje.

#### 6.1.2 Podklady

- Katastrální mapa
- Hydrologické podklady (ČHMÚ)
- Údaje o textilních procesech podniku
- Údaje o spotřebě vody v podniku
- Údaje o znečištění odpadní vody
- Požadavky na kvalitu procesní vody

#### 6.1.3 Poloha území

Textilní podnik X se nachází v Pardubickém kraji, okres Ústí nad Orlicí a rozkládá se v její jižní části Kladské kotliny. Obcí protéká řeka Březná (podrobněji hydrologie).

Počet obyvatel:	3 264
Průměrná nadmořská výška:	530 m n.m.

#### 6.1.4 Geomorfologie

Geomorfologické zařazení Kladské kotliny

System:	Hercynský
Subsystem:	Hercynská pohoří
Provincie:	Česká vysočina
Subprovincie:	Krkonošsko - jesenická
Oblast:	Orlická oblast
Celek:	Kladská kotlina

#### 6.1.5 Geologická stavba

Zdejší hory jsou geologicky velmi rozmanité, nalezneme pískovce, ruly a svory i krystalické vápence, žulu i vyvřelé horniny. V blízkosti stavby a koryta toku Březná převládají kvartérní nivní sedimenty (hlína, písek, štěrk). (*Česká geologická služba[online]*)



## 6.1.6 Hydrologie

V místě polohy podniku protéká tok řeky Březná. Řeka pramení na jihovýchodním svahu Jeřábu v nadmořské výšce přibližně 850 m n.m. V obci Hoštejn se vlévá jako levostranný přítok do řeky Moravská Sázava. Střední a dolní tok řeky je součástí přírodního parku Březná (Štítý – soutok s Moravskou Sázavou). (*wikipedie [online]*). V současné době slouží řeka jako jediný zdroj procesní vody.

Celková délka toku: 31,8 Km  
Plocha povodí toku: 130,03 Km<sup>2</sup>  
Číslo hydrologického pořadí: 4-10-02-037  
Hydrologická data řeky Březná:

**Tab. 28 N-leté průtoky řeky Březná v (m<sup>3</sup>/s) (Hlásný profil Hoštejn)**

N-leté průtoky	Q <sub>355d</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	0,078	17,5	33,0	41,2	63,7	75,0

Průměrný roční průtok: 1,75 [m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>]

## 6.2 VLASTNÍ NÁVRH

První část technologické linky byla navržena dle ČSN ČSN 75 6401- ČOV do 500 EO. v souladu s nařízením vlády 229/2007 Sb a metodickým pokynem k tomuto nařízení. V ČR neexistuje technická norma, právní nařízení ani požadavky pro návrh znovuvyužití vody v textilním průmyslu.

### 6.2.1 Současný stav a zdůvodnění návrhu

Cílem studie je návrh znovuvyužití vody v textilním podniku X. Jak již bylo uvedeno dříve, textilní podnik X odebírá pro procesní využití vodu z toku Březná, který protéká v těsné blízkosti výrobní haly (více kapitola 5). Voda z toku má vhodné parametry pro použití v procesu textilní výroby a vyžaduje jen minimální předúpravu. Odběr této vody je zřízen velmi výhodně (více kapitola 6.2 Ekonomické zhodnocení).

V současné době je veškerá odpadní voda z podniku odváděna na chemicko-biologickou ČOV nacházející se v blízkosti podniku. Vyčištěná voda je vypouštěna do toku Březná. Podnik je prvním a nejvýraznějším znečišťovatelem na toku. Na stávající čistírnu je přiváděna i odpadní vody z jiných textilních hal a dále splašková odpadní voda z obce Červená Voda. Čistírna má tedy několikanásobně vyšší kapacitu než je spotřeba vody v řešeném podniku X. Pro účely této studie je stávající čistírna zanedbána a je proveden nový návrh kompletní linky čištění a následného dočištění tak, aby bylo možné čištěnou vodu opět využít v procesu.

Návrh je proveden pro 2 varianty. První variantou je klasická koncepce čištění a doupravy textilní odpadní vody z barvení. Druhá varianta demonstruje návrh čištění textilní odpadní

vody tak, jak jej předkládá a vyvíjí výzkumný projekt AOP4WATER. Návrhy jsou provedeny formou studie. Hlavním cílem je popsat obě navrhovaná řešení s důrazem na jejich odlišnosti a specifika.

Předním přínosem realizace znovuvyužití čištěné odpadní vody ve výrobě by bylo snížení odběru vody z horského toku Březná a ochrana tohoto toku před vypouštěným zbytkovým znečištěním z klasické čistírny. Povolené limity znečištění pro vypouštěnou OV z textilní výroby na výtoku z ČOV uvádí nařízení vlády 23/2010 Sb. ČOV je schopná odstranit z velké části zabarvení vod, BSK, CHSK. Část znečištění, která je charakteristická pro textilní odpadní vody, však zůstává neodstraněna. Do toku se tak dostávají poměrně vysoké koncentrace anorganických solí z výroby a zbytkové zabarvení. Předním přínosem realizace znovuožití odpadní vody by tak byla ochrana zásob a kvality toku Březná.

## 6.2.2 Průtoky na ČOV

Při výpočtu průtoků se vycházelo z průměrné denní spotřeby za období let 2010 a 2011. Na základě těchto údajů byl zvolen návrhový průtok. Pro výpočet splaškových odpadních vod z podniku se vycházelo ze specifické denní spotřeby vody na jednoho zaměstnance.

**Tab. 29 Průměrná denní spotřeba vody**

Rok		
Měsíc	2010	2011
Leden	581,05	667,14
Únor	654,00	721,58
Březen	715,00	734,55
Duben	708,33	700,50
Květen	606,00	712,86
Červen	746,36	717,27
Červenec	752,94	423,85
Srpen	703,85	504,29
Září	709,52	711,43
Říjen	746,84	634,00
Listopad	729,52	-
Prosinec	738,75	-

### **A) Množství procesní odpadní vody**

$$Q_{\max} = 423,85 \quad \text{m}^3/\text{den}$$

$$Q_{\min} = 752,94 \quad \text{m}^3/\text{den}$$

$$Q_{\text{dp}} = 800 \quad \text{m}^3/\text{den}$$

### **B) Přítok splaškové OV z podniku**

$$\text{počet zaměstnanců} = 68$$

$$q_{\text{sp}} = 80 \quad \text{l/os/den}$$

$$k_d = 1,5$$

$$Q_{dpz} = 5,44 \text{ m}^3/\text{den}$$

$$Q_{dmz} = 8,16 \text{ m}^3/\text{den}$$

### Celkový průtok ČOV

$$Q_{dpp} = 808,16 \text{ m}^3/\text{den} \quad Q_{dpp} = Q_{dppr} + Q_{dpz}$$

$$Q_{dmp} = 808,16 \text{ m}^3/\text{den} \quad Q_{dmp} = Q_{dmp r} + Q_{dmz}$$

$$Q_{dmp} = 808,16 \text{ m}^3/\text{den} = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Při výpočtu se předpokládá 2- směnný (16 hodinový) provoz.

**Přepočet na EO:** 5387 (qsp = 150 l/os/den)

Z podniku nebyly získány informace o rozložení spotřeby vody během dne. Rozložení průtoků během dne je velmi proměnné. Odvíjí se od aktuálně barveného materiálu a použitých přísad. Vypouštění vody z barvicích aparátů je dáno dobou průběhu barvicího procesu, který se pro jednotlivé materiály a barviva značně liší. V hale rovněž paralelně pracuje 18 barvicích aparátů. Rozložení průtoků do jednotlivých hodin v průběhu pracovní směny se tedy nedá odhadovat a liší se v jednotlivých dnech. Při návrhu se uvažuje s výše uvedeným průměrným průtokem, na tento průtok jsou navrženy objekty ČOV. Vyhlazení špičkových průtoků zajistí návrh vyrovnávací nádrže.

Dešťové odpadní vody ze střech a zpevněných ploch nejsou řešeny. Jsou odváděny do toku Březná. Jejich odvod na ČOV a mísení s procesními OV se neuvažuje. Jejich úprava a možné využití v procesu výroby také není řešeno, nepředstavují spolehlivý zdroj vody.

## 6.2.3 Koncentrace znečištění na vstupu na ČOV

Následující tabulka uvádí hodnoty znečištění odpadní vody z výrobní haly podniku X. Jedná se o 6 povinných rozborů OV z roku 2010.

**Tab. 30 Koncentrace znečištění z výroby**

Parametr	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	N <sub>-anorg.</sub>	Pc.	NL	RAS
Datum	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
15.-16.3.2010	653,0	190,0	10,6	3,2	340,0	630
12.-13.4.2010	1130,0	230,0	34,3	1,5	351,0	1750
7.-8.6.2010	620,0	252,0	8,6	2,7	426,0	2020
6.-7.9.2010	828,0	180,0	34,0	1,6	389,0	862
11.-12.10.2010	665,0	210,0	19,9	2,9	178,0	946
6.-7.12.2010	1050,0	500,0	35,0	1,3	155,0	1210
Průměr	824,3	260,3	23,7	2,2	306,5	1236,3
Max	1130,0	500,0	35,0	3,2	426,0	2020,0
Min	620,0	180,0	8,6	1,3	155,0	630,0

Návrh ČOV je proveden pro průměrné hodnoty znečištění dopočtené v tab. 29. Odpadní vody jsou z 99 % tvořeny procesními vodami, zbylé procento tvoří splašky z podniku.

## 6.2.4 Požadavky výroby na kvalitu vody

Tab. 31 Požadavky výroby na kvalitu procesní vody

Parametr	pH	Tvrdost	Fe	Cl <sup>-</sup>	So <sup>4-</sup>	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	NL	RAS
Hodnota( mg/l)	7±0,5	50	0,15	300	100	3	20	5	100

## 6.2.5 Zhodnocení podmínek pro znovuvyužití

V podniku není možné využít vodu z jednoho procesu v procesu jiném. Jediným mokrým procesem ve výrobě je barvení a s ním spojené aplikace (viz kapitola 5).

Jedinou možností, která se nabízí pro tuto konkrétní situaci je znovuvyužití odpadních vod z barvení opět v procesu barvení a praní.

Všechny kroky v procesu barvení (předúprava, barvení, praní) probíhají vždy v jednom barvicím aparátu, který pracuje jako diskontinuální. Buben stroje se pro každou fázi úpravy vložené pleteniny vždy znovu naplní vodou v poměru hmotnosti vody a hmotnosti látky 10:1. Následně jsou přidány požadované chemikálie. Každá fáze úpravy (předúprava, barvení, praní) může probíhat v několika cyklech plnění a prázdnění bubnu. Vše se odvíjí od materiálu pleteniny, použitého barviva a požadovaného odstínu. Pro různé materiály se spotřeba vody v procesu značně liší a také chemické složení barvicí lázně je různé. Barvení konkrétních materiálů probíhá podle aktuálních požadavků zákazníků, které se neustále mění. Podnik používá širokou škálu barviv a receptur chemikálií vytvořených pro konkrétní materiál a barvu.

## Oddílné a kolektivní čištění odpadních vod

Často aplikovaným a výhodným postupem při návrhu znovuvyužití odpadních vod v textilním průmyslu je separace proudů OV na silně koncentrovaný odtok z barvení a prvního praní a na slabě znečištěný odtok z ostatních fází praní (při posledním praní již odtéká z aparátu čistá voda) a z barvení světlých odstínů. Tento přístup čistí pro znovuvyužití pouze vody slabě znečištěné. Náklady na čištění těchto nařazených vod jsou značně nižší. Koncentrovaný proud odpadní vody je zneškodňován samostatně. Snaha se soustřeďuje na co nejvyšší zakoncentrování silně znečištěného proudu a na separaci anorganických solí a jejich opětovné využití ve výrobě. Přístup založený na oddílném čištění OV má tedy řadu výhod. Čistí slabě znečištěnou vodu pro znovuvyužití, vede ke snížení spotřeby čisté vody a rovněž ke znovuvyužití a snížení spotřeby solí.

V případě podniku X není možné tuto separaci za stávajících podmínek výroby provést. Důvodem je soustředění všech cyklů barvení do jednoho aparátu a velká variabilita receptur a barviv. Separace proudů by tak vyžadovala zásadní změny v zařízení barevny, které ale nejsou předmětem diplomové práce. Barvení světlých i tmavých odstínů probíhá ve stejných aparátech (u jedné zakázky se barví od nejsvětlejších odstínů až po odstíny nejtmaší). V případě snahy oddělit odpadní vody z barvení světlých a tmavých odstínů by

bylo možné teoreticky vyhradit barvicí stroje pouze pro světlé (tmavé) odstíny. Problém by ale nastal s určením vstupního znečištění ze světlých a tmavých odstínů separátně. V současnosti je možné od podniku získat pouze informace o znečištění směsné odpadní vody.

Z tohoto důvodu bylo zvoleno jediné zbývajících řešení, tedy čištění všech odpadních vod z výroby kolektivně a návrh takové technologické linky, která by umožnila jejich znovuvyužití ve výrobě.

### **Specifické znečištění z výroby**

Při návrhu znovuvyužití OV je základním krokem nejdříve vyhodnotit spotřebu vody pro výrobu a produkci znečištění. Textilní podnik X poskytl údaje pouze o celkové spotřebě vody v divizi a o celkovém průměrném znečištění na odtoku z výroby. Jiná měření a statistiky (např. spotřebu vody pro barvení 1 Kg daného materiálu, produkci znečištění na 1 Kg materiálu aj.) podnik neprovádí a vzhledem k rozpětí výroby a široké škále zpracovávaných materiálů by bylo velmi obtížné takováto vyhodnocení zpracovat. Celkové znečištění z výroby pochází z barvení různých druhů materiálů, stejně tak celková spotřeba vody. Není možné tedy určit průměrnou spotřebu vody ani průměrné znečištění pro konkrétní materiál.

## 6.3 STUDIE 1 – KLASICKÁ KONCEPCE LINKY

Studie 1 navrhuje linku pro čištění směsné odpadní vody z podniku a její doupravu podle klasického schéma tak, jak je v současnosti nejčastěji aplikováno v zemích, které využívají recyklaci textilní odpadní vody.

### Areál ČOV

ČOV bude umístěna po levé straně toku Březná, v těsné blízkosti podniku. Již nyní existuje trubní přívod odpadních vod z podniku. Potrubí je shybkou převedeno pod vodním tokem Březná a přivádí OV na parcelu, kde bude umístěna čistírna. ( Příloha B.1.2, Přehledná situace ČOV 1)

Areál navržené ČOV má rozlohu cca 3274,4 m<sup>2</sup>. Celý areál je oplocen drátěným pletivem výšky 2 m. Vstupní brána o šířce 3 m je umístěna v západní části areálu. Přístup k jednotlivým stavebním objektům a technologiím v areálu umožňuje zpevněná asfaltová komunikace šířky 3 m. Pro objekty mimo dosah komunikace je vybudován chodník. Objekty čistírny budou umístěny nad hladinou Q100.

**Provozní soubory a objekty ČOV** (Příloha B.1.2. Podrobná situace ČOV a B.1.1. Technologické schéma ČOV 1)

- Provozní budova

#### PS 1 – Mechanické předčištění

- Bubnový šroubový filtr
- Vyrovnávací a homogenizační nádrž

#### PS 2 - Chemické předčištění

- Koagulační nádrž
- Flokulační nádrž
- Usazovací nádrž

#### PS 3 – Biologické čištění

- Aktivační nádrž
- Dosazovací nádrž
- Jímka plovoucích nečistot
- Dmychárna

#### PS 4 – Kalové hospodářství

- čerpací stanice vratného a přebytečného kalu
- Čerpací stanice chemického kalu
- Uskladňovací nádrž
- Kalová odstředivka

#### PS 5 – Chemické hospodářství

## PS 6 - Pískové filtry

## PS 7 - Ozonizace

## PS 8 - Odželezovací filtry

## PS 9 - Reversní osmóza

Technologie čištění je přehledně znázorněna na technologickém schéma, příloha B. 1.1. Technologické schéma ČOV 1.

### 6.3.1 Odhad účinnosti jednotlivých stupňů linky

Tab. 32 Odhad koncentrace znečištění v jednotlivých stupních (příloha A.1.18. Odhad účinnosti)

<b>Koncentrace znečištění (odhad) - linka čištění OV</b>					
Parametr	Vstup do ČOV	Vstup na chemické srážení	Vstup do aktivace	Výstup z dosazovací nádrže	Emisní limity vypouštěných OV(dle NV 23/2011Sb.)
	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l
BSK <sub>5</sub>	260,3	249,9	174,9	15	50
CHSK <sub>Cr</sub>	824,3	791,3	237,4	150	300,0
NL	306,5	245	123	25	40,0
N <sub>anorg</sub>	23,7	22,515	21,1641	5	15
Pc	2,2	2,09	2,09	1	2
Barva(nm)	0,4	0,4	0,12	0,1	-
Fe	-	-	-	-	3
RAS	1236	-	-	-	2000

Tab. 32 uvádí odhadované koncentrace znečištění na vstupu do jednotlivých stupňů čištění linky. Pro představu jsou uvedeny i emisní limity vypouštěných OV dle NV 23/2011 Sb. Druhá část linky (dočištění za dosazovací nádrží) je navržena předběžně, pro podrobnější návrh by bylo nutné ověřit skutečné hodnoty účinnosti první části linky a v případě potřeby navrhnout další stupně dočištění (vše směřuje k vhodné předúpravě vody pro vstup do RO – viz dále).

### Provozní budova

Provozní budova se bude skládat ze dvou oddělených částí. První část je správní budova s půdorysnými rozměry 7,0 x 9,0 m. Druhá část je technologická hala s půdorysným rozměrem 8,6 x 10,5 m. Správní budova bude zahrnovat velín, sklad, a sociální zařízení(WC+sprchy) a šatny. V technologické hale bude umístěn generátor ozonu s příslušenstvím, jednotka RO s příslušenstvím, odželezovací filtry a jeřábová dráha pro případnou manipulaci se zařízením. Vstup do technologické haly budou zajišťovat vrata 2,5 x 2,5 m umožňující instalaci a manipulaci s vestavěným zařízením. Technologická hala bude propojena se správní budovou dveřmi 2,2 x 1 m. V samostatných místnostech s vlastními vstupy zvenku budou umístěna dmychadla v jedné místnosti, chemikálie hospodářství ve druhé místnosti, a kalová odstředivka s kontejnerem na odvodněný kal v místnosti třetí. Dmychadla budou dodávat vzduch do aktivací nádrže, zahušťovací nádrže, uskladňovací nádrže a rozmíchávací nádrže skalice zelené. Samostatné dmychadlo bude dodávat vzduch pro praní pískových filtrů.

## 6.3.2 PS 1 Mechanické předčištění

### Bubnový šroubový filtr

Odpadní vody přitékající kanalizací z podniku jsou přiváděny k objektu mechanického předčištění. Tvoří je bubnový šroubový filtr umístěný v otevřeném kanálu.

Bubnový šroubový filtr (Příloha A.1.2. Mechanické předčištění) slouží k zachycení jemných částic od velikosti 0,8 mm. Je umístěn v provozní budově v části technologická hala. Funkčním prvkem zařízení je rotující filtrační buben s lopatkami uvnitř. Lopatky nabírají při rotaci zachycené nečistoty. Velká filtrační plocha pak zajišťuje velkou filtrační kapacitu a menší rychlost proudění vody při průchodu oky síta. Uvnitř bubnu je umístěn žlab, kam padají zachycené nečistoty. Žlab je opatřen šroubem, který dopravuje shrabky do integrovaného lisu. Lis zajišťuje znatelné snížení objemu kalů. Po naplnění lisu je odpad přemístěn do kontejneru. Kontejner na shrabky je umístěn vedle filtru. Samotnou filtraci zajišťuje výměnné nerezové síto připevněné na filtračním bubnu. Zařízení bude umístěné v nerezové vaně. Paralelně s bubnovým filtrem budou osazeny jemné, ručně stírané česle.

Bubnový šroubový filtr byl zvolen z důvodu schopnosti účinně zachytit z proudu OV jemná textilní vlákna bez nebezpečí ucpání.

### Vyrovňovací a homogenizační nádrž

Vyrovňovací a homogenizační nádrž je betonová obdélníková otevřená nádrž, která slouží k vyrovnaní hydraulického a látkového zatížení čistírny. Vyrovnaní eliminuje maxima i minima průtoků, zajišťuje optimální podmínky pro čištění OV. Odpadní voda bude do nádrže přiváděna z mechanického předčištění.

Hlavním účelem nádrže je vyrovnat značně nerovnoměrný přítok OV během dne a dostatečnou homogenizaci zajistit zrovnoměnění nátok znečištění (egalizační nádrž). Požadavkem nádrže je vodotěsnost. Ochranné nátěry nejsou vyžadovány.

Nádrž je navržena na dobu zdržení odpadní vody 7 hodin při průměrném denním přítoku Q<sub>dp</sub>. Tento objem by měl zajistit zadržení případných špičkových průtoků během dne. Početní nebo grafické řešení (součtové čáry přítoku a odtoku) nutné velikosti retenčního prostoru není možné provést z důvodu chybějících podkladů o rozložení přítoků do nádrže. Podnik nevede záznamy o rozložení spotřeby vody během dne. Rozložení je navíc v jednotlivých dnech velmi proměnné, podle aktuálních barvených zakázek.

Nádrž bude promíchávána dvěma ponornými míchadly. Míchadla budou umístěna na kovové vodící tyči připevněné u stěny nádrže na dvou protilehlých stěnách. Promíchávání zajistí dostatečnou homogenizaci OV a zabrání případnému usazování pevných částic. Hrubobublinná aerace pro homogenizaci v tomto případě nebyla zvolena z důvodu následného dávkování vápna ve stupni chemického srážení. Dno nádrže bude vyspádováno směrem ke kalové prohlubni.

Z nádrže bude homogenizovaná odpadní voda čerpána kalovým čerpadlem a přiváděna do nádrží chemického předčištění. Jsou navržena 2 kalová čerpadla (1 provozní a 1 rezervní).



Čerpání bude regulovat maximální přítok do dalších technologických objektů ČOV tak, aby nepřekročil  $Q_{dp}$ . Na tento průtok jsou dimenzovány ostatní objekty ČOV.

**Parametry nádrže:** (Příloha A.1.3. Vyrovnávací a homogenizační nádrž)

Počet nádrží:	1
Návrhový průtok:	$Q_{dp} = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Doba zdržení:	$\Theta = 7 \text{ hod}$
Rozměry(š x d x h):	9 x 13 x 3 m
Hloubka vody:	$h = 3,0 \text{ m}$
Užitný objem:	$V = 353,6 \text{ m}^3$

**Parametry ponorných kalových čerpadel v nádrži:** (Příloha A.1.16. Návrh čerpadel)

počet čerpadel: 1 + 1 (provozní + rezervní)

**Návrhové parametry:**

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 50 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 3,0 \text{ m}$$

**Navržená čerpadla:**

Výrobce: WILO

Typ: FA 10.51-147E + T 17-4/8HEX

Spínání čerpadla bude řízeno plovákovou sondou, podle polohy hladiny v homogenizační nádrži. Maximální čerpané množství dále do čistírenské linky bude  $Q_{dp}$ .

**Míchadla v nádrži:**

Homogenizaci nádrže zajistí instalované rychloběžné míchadlo. Návrh a umístění provádí výrobce.

### 6.3.3 PS 2 Chemické předčištění

Chemické předčištění je do linky zařazeno z důvodu odstranění výrazného znečištění, především barev z odpadních vod. Chemické předčištění sestává z nádrže koagulační, nádrže flokulační a sedimentační. Homogenizovaná odpadní voda z vyrovnávací nádrže je čerpána do koagulační nádrže. Návrh vychází z ověřené účinnosti srážení při čištění textilních OV.

#### Koagulační nádrž

Koagulační nádrž je otevřená, betonová kruhová podzemní nádrž. Voda je do ní čerpána z homogenizační nádrže. V koagulační nádrži je u přiváděné vody upravováno pH dávkováním vápenného mléka  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a dále je do vody přiváděn koagulant. Dávkování vápenného mléka bude probíhat v závislosti na pH tak, aby se pH pohybovalo v zásadité oblasti cca  $\text{pH} = 9$ . Hodnota pH bude měřena pH metrem. Přitékající OV většinou tento požadavek splňují ( velké množství používaných pracích prostředků způsobuje vysoké pH). Jako koagulant byla zvolena skalice zelená ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), která je účinná při srážení znečištění obsaženého v textilních odpadních vodách z barvení. Dávka skalice

zelené se bude odvíjet od průtoku odpadních vod a jejich znečištění (především zabarvení). Vzhledem k proměnné kvalitě OV bude nutné i dávku skalice regulovat (dle kvality přítoku a odtoku z chemického stupně, která musí být kontrolována). Koagulací je možné z odpadní vody odstranit rozpuštěné popř. koloidní látky. Voda je nepřetžitě mísená rychloběžným míchadlem a po přidání koagulantu dochází k chemické reakci s látkami ve vodě. Dochází ke srážení látek ve vodě a k vytváření drobných vloček. Rychlé míchání nádrže umožní homogenizaci nadávkovaných chemikálií v celém objemu nádrže. Míchadlo bude umístěno na vodící tyči u stěny nádrže.

Doba zdržení v nádrži je navržena dle ověřené účinnosti na 1 hodinu. Navržená nádrž je vodotěsná, nevyžaduje ochranné nátěry.

Voda z koagulační nádrže odtéká potrubím DN 200 do flokulační nádrže.

#### **Parametry nádrže: (Příloha A.1.4. Chemické srážení)**

Počet nádrží:	$n = 1$
Návrhový průtok:	$Q = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Doba zdržení:	$\Theta = 1 \text{ hod}$
Objem nádrže:	$V = 50,8 \text{ m}^3$
Hloubka nádrže:	$h = 3,8 \text{ m}$
Průměr nádrže:	$D = 4,3 \text{ m}$

#### **Míchadlo koagulační nádrže**

Homogenizaci nádrže zajistí instalované rychloběžné míchadlo. Návrh a umístění provádí výrobce.

#### **Flokulační nádrž**

Flokulační nádrž je navržena jako betonová otevřená podzemní kruhová nádrž. Vody jsou přiváděny z koagulační nádrže pod úroveň hladiny. Účelem flokulační nádrže je dávkování organického flokulantu do odpadní vody. Jako flokulant je navržen polyelektrolyt na bázi derivátu polyakrylamidu (Superfloc). Flokulační činidlo po nadávkování podporuje vytváření velkých, dobře usaditelných a separovatelných vloček. Rovněž zajišťuje dobré vlastnosti vzniklého chemického kalu při zahuštění a odvodnění.

Flokulační nádrž je pro dokonalé smísení kapaliny s flokulantem promíchávána pomaloběžným míchadlem instalovaným na vodící tyči u stěny nádrže. Objem nádrže je navržen na dobu zdržení 15 minut. Během této doby dojde k dostatečnému promísení a vytvoření dobře oddělitelných vloček. Voda s vločkami odtéká z flokulační nádrže potrubím DN 200 do usazovací nádrže chemického kalu.

#### **Parametry nádrže: (Příloha A.1.4. Chemické srážení)**

Počet nádrží:	$n = 1$
Návrhový průtok:	$Q = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Doba zdržení:	$\Theta = 0,25 \text{ hod}$
Objem nádrže:	$V = 13,3 \text{ m}^3$
Hloubka nádrže:	$h = 3,8 \text{ m}$
Průměr nádrže:	$D = 2,2 \text{ m}$

## Míchadlo koagulační nádrže

Homogenizaci nádrže zajistí instalované pomaluběžné míchadlo. Návrh a umístění provádí výrobce.

## Sedimentační nádrž chemického kalu

Do sedimentační nádrže přitékají odpadní vody s obsahem vysrážených chemických vloček potrubím DN 200. Usazovací nádrž slouží k jejich separaci od chemicky vyčištěné vody. Nádrž je řešena jako betonová otevřená kruhová.

Voda je přiváděna ke dnu usazovací nádrže. Přitéká do středového sloupu, ze kterého natéká do nátokového deflektoru. V deflektoru je rychlost vody snížena. Voda proudí do prostoru flokulačního válce. Z flokulačního válce voda natéká do hlavního usazovacího prostoru. Výtokový reflektor zabraňuje jejímu proudění ke kalové jímce. Voda proudí k obvodu nádrže, kde přepadá přes přepadovou hrabu do obvodového žlabu. Nátok je opatřen normou stěnou pro zabránění průniku plovoucích látek.

Ve středu nádrže se u dna nachází kalová jímka. Dno sedimentační nádrže je vyspádováno ke kalové jímce ve sklonu 2 %. Chemický kal se usazuje na dně nádrže a je stírán škrabkami do kalové jímky.

Případné plovoucí látky budou z hladiny stírány pomocí pohyblivých stěrek do jímky plovoucích nečistot. Zařízení pro stírání kalu ze dna a plovoucích nečistot z hladiny bude spojeno s otočným mostem šířky 1 m.

Z usazovací nádrže odtéká chemicky předčištěná OV do neutralizační nádrže potrubím DN 200.

Chemický kal bude odtahován z kalové jímky v závislosti na výšce kalu v jímce. Úroveň kalu bude snímána sondou a při dosažení nastavené úrovně bude kal odčerpán do zahušťovací nádrže. Kal je čerpán přes čerpací jímku chemického kalu do uskladňovací nádrže.

### Parametry nádrže: (Příloha A.1.4. Chemické srážení)

Počet nádrží:	1
Návrhový průtok:	$Q = 808,16 \text{ m}^3/\text{den}$
Rozměry:	$D = 10,4 \text{ m}$ , $h = 2,5 \text{ m}$
Průměr uklidňujícího válce:	$D' = 2 \text{ m}$
Objem:	$V = 204,41 \text{ m}^3$
Povrchové hydraulické zatížení:	$v = 0,62 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hod}$
Doba zdržení:	$\Theta = 1,01 \text{ hod}$
Koncentrace kalu:	$X = 4 \text{ Kg/m}^3$

## Neutralizační nádrž

Neutralizační nádrž je podzemní betonová nádrž čtvercového půdorysu. Přitékají do ní chemicky vyčištěná odpadní voda ze sedimentační nádrže. Neutralizační nádrž slouží

k případné neutralizaci odpadních vod před vstupem do biologického stupně. Vhodné pH pro aktivovanou biomasu se pohybuje v rozmezí pH 6 – 8. pH přitékající vody bude měřeno pH metry a v případě potřeby bude na přítok do nádrže dávkovacími čerpadly dodáván roztok  $H_2SO_4$ . V případě potřeby bude nutné v tomto stupni přidávat do odpadní vody živiny. Odpadní voda je z této nádrže čerpána dvěma kalovými čerpadly do aktivace. Soustava 2 čerpadel namísto 1+1 byl zvolen kvůli lepší práci s průtokem. Čerpání bude řízeno polohou hladiny v nádrži.

#### **Parametry nádrže: (Příloha A.1.5. Neutralizační nádrž)**

Návrhový průtok:	$Q = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Doba zdržení:	$\Theta = 0,5 \text{ hod}$
Objem nádrže:	$V = 25,3 \text{ m}^3$
Hloubka nádrže:	$h = 2,8 \text{ m}$
Rozměry (a x b):	$3 \times 3 \text{ m}$

#### **Parametry ponorných kalových čerpadel v nádrži: (Příloha A.1.16. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 2

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 50 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 3,0 \text{ m}$$

#### **Navržená čerpadla:**

Výrobce:	WILO
Typ:	FA 05.33-112E / F13.2-2/9

### **6.3.4 PS 3 Biologické čištění**

#### **Aktivační nádrž**

Aktivační nádrž slouží k biologickému čištění odpadních vod. V dané čistírně byla navržena směšovací aktivační nádrž, která má podobu otevřené nadzemní nádrže kruhového půdorysu. Jedná se o nádrž šroubovanou ze smaltovaných plechů. Dodavatelem těchto nádrží je Vítkovice Power engineering a.s. Nádrže jsou vhodné pro čistírenské linky průmyslových odpadních vod. Podle požadovaného objemu a rozměrů aktivační nádrže je nádrž sestavena z jednotlivých dílců (lubů). Specifikace rozměrů nádrže a počtu lubů je uvedena v příloze A.1.6.

Do nádrže je voda přiváděna z neutralizační nádrže potrubím o DN150, zaústěným pod hladinu vody v nádrži. Nádrž je vybavena jemnobublinnou aerací FORTEX (Příloha A.1.15. Aerace), a míchadly Flygt. V nádrži se střídají aerobní a anaerobní podmínky. V aerobní fázi je odpadní voda se znečištěním provzdušňována, dochází k biologické degradaci organického znečištění a k nitrifikaci. Poté se podmínky v nádrži změň na anaerobní. Toho je docíleno vyřazením aerace a intenzivním promícháváním obsahu nádrže, až dojde ke spotřebování veškerého kyslíku. V anaerobních podmínkách probíhá denitrifikace. Tyto dvě fáze jsou zařazeny kvůli účinnému odstranění nutrietů(dusíku)

z odpadní vody. Střídání a průběh nitrifikace a denitrifikace je řízeno podle aktuální koncentrace kyslíku v nádrži (kyslíková sonda).

Vstupující odpadní voda může dosahovat teploty až 30 °C. Při takto vysokých teplotách je sice vysoká aktivita biomasy v aktivovaném kalu, nastávají ale další problémy. Rozpustnost kyslíku ve vodě je nižší a jeho celková spotřeba je tedy značně zvýšená (rovněž zvýšená spotřeba kyslíku pro endogenní rozklad kalu). Naopak výhodou je urychlení rozkladných procesů a nižší produkce kalu. Problém vysoké spotřeby kyslíku je možné vyřešit návrhem a zavedením aerace s čistým kyslíkem. Tento systém ale vede k navýšení provozních nákladů. V této studii se předpokládá návrh klasické aerace s využitím vzdušného kyslíku. Problém při čištění může tvořit také vysoká solnost odpadní vody. Vysoké koncentrace anorganických solí mohou mít inhibiční vliv na mikroorganismy. S tímto možným problémem je třeba počítat a vliv solnosti při testech ověřit.

Přístup k nádrži umožňuje ocelové schodiště. Přes nádrž bude zřízena pochůzí lávka šířky 1,2 metrů, opatřená zábradlím výšky 1,2m. Na lávce je upevněna kyslíková sonda. Kolem nádrže je rovněž zábradlí o výšce 1,2m. Vstup dovnitř nádrže je po ocelovém žebříku ukotveném ve stěně. Na dně nádrže jsou v pravidelných rozestupech umístěny jemnobublinné aerační elementy FORTEX. Vzduch je přiváděn z dmychadel, umístěných v armaturní komoře pro dmychadla vedle aktivační nádrže. Ve dvou protilehlých rozích budou umístěna dvě míchadla. Odtok je vzhledem k přítoku umístěn v protilehlé části nádrže. Je opatřen normou stěnou. Voda se přelévá přes přelivnou hranu do sběrného žlabu, a odtud přechází do potrubí k dosazovací nádrži.

#### **Parametry nádrže: (Příloha A.1.6. Aktivační nádrž )**

Počet nádrží:	1
Objemové zatížení:	$B_v=0,19 \text{ Kg/m}^3/\text{den}$
Látkové zatížení:	$B_x=0,05 \text{ Kg/Kg/den}$
Produkce kalu:	$V_{kal}=77,9 \text{ kg/den}$
Objem kalu v aktivaci:	$W_s= 2827,29 \text{ m}^3$
Doba zdržení:	$\Theta = 21,9 \text{ hod}$
Stáří kalu:	$\Theta \times = 36,3 \text{ dní}$
Koncentrace kalu:	$X = 4 \text{ Kg/m}^3$
Průtok:	$Q_{dp} = 808,16 \text{ m}^3/\text{den}$
Rozměry:	$h = 5 \text{ m}, D = 13,71 \text{ m}$
Objem nádrže:	$V = 737,76 \text{ m}^3$
Recirkulační poměr:	$R = 100 \%$
Doba zdržení s recirkulací:	$\Theta R = 10,95 \text{ hod}$

#### **Aerační zařízení:**

Typ:	FORTEX
Zatížení aerátoru vzduchem:	$8 \text{ m}^3/\text{hod}$

Počet aerátoru:	228 ks
Počet aerátorů na 1m <sup>2</sup> :	1,5 Ks

### **Míchadla:**

Míchání obsahu nádrže zajistí 2 instalovaná míchadla. Návrh a umístění provádí výrobce.

### **Dosazovací nádrž**

Dosazovací nádrž je kruhová betonová nádrž. Odpadní voda s obsahem aktivovaného kalu přitéká z aktivační nádrže potrubím DN 200 ke dnu dosazovací nádrže, do středového ocelového sloupu, ze kterého natéká vtokovými otvory do nátokového deflektoru. Zde dochází ke snížení rychlosti a usměrnění toku směsi šikmo vzhůru do prostoru flokulačního válce, který je shora uzavřen.

Voda vytékající z flokulačního válce je usměrňována výtakovým deflektorem mimo středovou kalovou jímku. Flokulační válec včetně nátokového i výtakového deflektoru je pevně spojen se středovým sloupem. Voda odtéká k obvodu nádrže, stoupá vzhůru a přepadá do žlabu podél celého obvodu nádrže, opatřeného nornou stěnou a přepadovou hranou. Dále je odváděna potrubím DN 200 do nádrže biologicky vyčištěné vody.

Kal, který byl v dosazovací nádrži zachycen, je stírán pomocí škrabek po dně nádrže k jejímu středu do kalové jímky a odtud je odebírán kalovým potrubím do armaturní komory kalu. Dno nádrže je vyspádováno směrem ke kalové jímce ve sklonu 2%.

Plovoucí kal je k obvodu nádrže posouván hladinovými stěrkami do žlabu a do jímky plovoucích nečistot, která je umístěna vedle dosazovací nádrže. Stírací zařízení je spojeno s otočným mostem, který pojíždí po pojezdové dráze. Most má šířku 1,0 m, přesahuje přes polovinu nádrže, a je opatřen zábradlím výšky 1,2.

Z dosazovací nádrže je odtahován vratný kal do čerpací stanice vratného a přebytečného kalu.

### **Parametry nádrže: (Příloha A.1.7. Dosazovací nádrž)**

Počet nádrží:	$n = 1$
Průtok:	$Q_{dp} = 808,16 \text{ m}^3/\text{den}$
Rozměry:	$D = 12,4 \text{ m}, h = 3 \text{ m}$
Průměr uklidňujícího válce:	$D' = 2 \text{ m}$
Objem:	$V = 352,68 \text{ m}^3$
Hydraulické zatížení:	$v = 0,43 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hod}$
Koncentrace kalu:	$X = 3,5 \text{ Kg}/\text{m}^3$
Kalový index:	$KI = 150 \text{ mg}/\text{l}$
zatížení nerozpustnými látkami:	$NL = 5 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{hod}$
Doba zdržení:	$\Theta = 1,61 \text{ hod}$

### **Jímka plovoucích nečistot:**

Jímka plovoucích nečistot je uzavřená betonová nádrž umístěná vedle dosazovací nádrže. Jsou do ní odváděny plovoucí nečistoty, stírané z hladiny dosazovací nádrže. V jímce je

umístěno čerpadlo, které tyto nečistoty dávkuje zpět na přítok do aktivační nádrže. Půdorysný rozměr jímky je 2,0x2,0 m. Tloušťka stěn jímky je 250mm, její hloubka je 2,5 m.

## Dmychárna

Dmychárna je umístěna v provozní budově. Slouží pro uložení dmychadel, která vytváří vzduch pro provzdušňování aktivační nádrže jemnobublinnou aerací a pro provzdušňování uskladňovacích nádrží středobublinnou aerací. Z komory jsou vedeny podzemní trubní rozvody vzduchu po celém areálu čistírny, k těmto objektům. Samostatné dmychadlo je navrženo pro dodávku vzduchu při praní filtrů vzduchem.

### Parametry dmychadel: (Příloha A.1.13. Návrh dmychadel)

#### Aktivační nádrž

Celková potřeba vzduchu:

$$Q_c = 1810,11 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Celkový přetlak:

$$\Delta p = 55 \text{ Kpa}$$

Navržená dmychadla: Dmychadla KUBÍČEK VHS - typ 3D55B - 151

Počet kusů: 1+1

#### Zahušťovací nádrž, uskladňovací nádrž

Celková potřeba vzduchu:

$$Q_c = 232,3 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Celkový přetlak:

$$\Delta p = 44 \text{ Kpa}$$

Navržení dmychadel: Dmychadla KUBÍČEK VHS - typ 3D28C - 080

Počet kusů: 1+1

#### Dmychadlo pískových filtrů

Celková potřeba vzduchu:

$$Q_c = 279,9 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Celkový přetlak:

$$\Delta p = 22 \text{ Kpa}$$

Navržení dmychadel: Dmychadla KUBÍČEK VHS - typ 3D28C - 080

Počet kusů: 1

## 6.3.5 PS 4 Kalové hospodářství

### Čerpací stanice vratného a přebytečného biologického kalu

Je to betonová komora s půdorysným rozměrem 3,0 x 3,0 m. Ve stanici jsou umístěna čerpadla vratného kalu a čerpadlo kalu přebytečného. Čerpadla vratného kalu zajišťují recirkulaci kalu mezi dosazovací a aktivační nádrží a udržují tak koncentraci kalu v aktivaci na stálé hodnotě. Čerpadlo přebytečného kalu odtahuje kal ze systému v případě zvýšení jeho koncentrace nad požadovanou hodnotu.

Do čerpací stanice je odtahován kal z kalové jámy dosazovací nádrže. Velikost recirkulačního průtoku je řízena podle aktuálního průtoku odpadních vod, při zachování recirkulačního poměru 100 %. Vratný kal je přiváděn do aktivací nádrže nad úroveň hladiny. V aktivací nádrži je měřena koncentrace aktivovaného kalu. Návrhová hodnota koncentrace kalu je  $4 \text{ Kg/m}^3 \text{ OV}$ . Při překročení této koncentrace dochází k odtahu přebytečného kalu pomocí čerpadla přebytečného kalu, které je rovněž umístěné v čerpací stanici. V aktivaci je tak udržována návrhová koncentrace kalu. Navržená aktivace zajišťuje i aerobní stabilizaci kalu. Stabilizovaný kal je odtahován do zahušťovací nádrže, kde dochází k jeho zahuštění před smísením s chemickým kalem.

#### **Parametry čerpadel vratného kalu: (Příloha A.1.16. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 1+1

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 8 \text{ m}$$

#### **Navržená čerpadla:**

Výrobce: WILO

Typ: FA 05.33-112E / F13.2-2/9

#### **Parametry čerpadel přebytečného kalu: (Příloha A.1.16. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 1+1

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 0,9 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 6 \text{ m}$$

#### **Navržená čerpadla:**

Výrobce: WILO

Typ: TM 32/7

### **Zahušťovací nádrž přebytečného kalu**

Do zahušťovací nádrže je čerpán přebytečný biologický kal z čerpací jámy přebytečného kalu. Kal je přiváděn nad úroveň maximální hladiny v nádrži. Nádrž slouží k jeho oddělenému zahuštění na hodnotu 2 % tak, aby odpovídalo zahuštění chemického kalu. Přiváděný přebytečný kal má vstupní koncentraci 0,8 % ( $8 \text{ Kg/m}^3$ ).

Nádrž je navržena jako nadzemní otevřená betonová se čtvercovým půdorysem. Obsah nádrže je provzdušňován středněbublinnou aerací (aerátory FORTEX-Příloha A.1.15. Aerace). Aerátory jsou rozmístěny u dna nádrže, vzduch je přiváděn z dmychárny potrubím vzduchu. Nádrž je opatřena kašnovým přepadem DN300 a odběrným potrubím pro odtah zahuštěného kalu do uskladňovací nádrže. V uskladňovací nádrži dochází ke společnému zahuštění a uskladnění chemického a biologického kalu. 0,5 m pod úrovní



hladiny je umístěno potrubí pro odtah kalové vody. Kalová voda je čerpána čerpadlem kalové vody zpět na vstup do aktivace. Kalová voda z bezpečnostního přepadu je odvedena do homogenizační nádrže. Nádrž je opatřena revizní lávkou š. 1 m a délkou 3m. Vstup dovnitř nádrže je pomocí ocelového žebříku upevněného na horním okraji k revizní lávce, na dolním okraji zabetonovaného do dna nádrže.

#### **Parametry nádrže: (Příloha A.1.8. Kalové hospodářství)**

Produkce přebytečného kalu:	$V_{kal} = 115,50 \text{ kg/den}$
Koncentrace přebytečného kalu:	$X = 8 \text{ Kg/m}^3$
Koncentrace kalu po zahuštění:	$X = 20 \text{ Kg/m}^3$
Celková doba zdržení:	$\Theta = 10 \text{ dní}$
Rozměry:	$a=b=3,1 \text{ m}, h=6,1 \text{ m}$
Objem nádrže:	$V = 58,6 \text{ m}^3$

#### **Parametry čerpadel kalové vody: (Příloha A.1.16. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 1+1

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 4,9 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 5 \text{ m}$$

#### **Navržená čerpadla:**

Výrobce: WILO

Typ: TMW 32/8 Twister

### **Čerpací stanice chemického kalu**

Při výpočtu produkce chemického kalu se jedná jen o předběžné odhady pro účel studie. Skutečná produkce se bude odvíjet od skutečně potřebných dávek chemikálií. Tyto dávky je nutné stanovit na základě zkoušek na vzorcích konkrétní odpadní vody a později provozními zkouškami.

Při odhadu produkce chemického kalu nelze vycházet z molárního poměru srážedla a znečišťující látky, není prokázána účinnost pro konkrétní OV.

Čerpací stanice je uzavřená betonová nádrž s půdorysným rozměrem 2 x 2m. Budou zde umístěna 2 čerpadla (provozní a rezervní) pro odtah chemického kalu z kalové prohlubně v usazovací nádrži. Odtah bude řízen výškou vrstvy kalu v kalové prohlubni.

#### **Parametry čerpadel přebytečného kalu: (Příloha A.1.16. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 1+1

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 3,87 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 8,2 \text{ m}$$

### Navržená čerpadla:

Výrobce: WILO

Typ: VC 32/10 3~

### Uskladňovací nádrž

Uskladňovací nádrž je navržena jako betonová otevřená nádrž čtvercového půdorysu, do které je přiváděn přebytečný kal ze zahušťovací nádrže (koncentrace 20 Kg/m<sup>3</sup>) a chemický kal z usazovací nádrže (20 Kg/m<sup>3</sup>). Směsný kal je v uskladňovací nádrži zahuštěn a částečně aerobně stabilizován. Zahuštěný kal z biologického stupně je přiveden potrubím DN 200 ze zahušťovací nádrže přebytečného kalu nad maximální hladinu v nádrži. Chemický kal ze sedimentační nádrže chemického předčištění je přiveden samostatným potrubím DN200 z čerpací jímky chemického kalu. Maximální úroveň hladiny je zabezpečována kašnovým bezpečnostním přepadem DN300. Nádrž má celkem 3 odběrná potrubí, umístěná v různých výškových úrovních nad sebou. Kal odebraný těmito potrubími míří na kalovou odstředivku. Kalová voda z bezpečnostního přepadu jde do vnitřní kanalizace čistírny a do homogenizační nádrže na přítoku ČOV. 0,5 m Pod hladinou je umístěno odběrné potrubí kalové vody, která je čerpána zpět na přítok do aktivační nádrže. Obsah nádrže je provzdušňován středobublinnou aerací pomocí aerátorů FORTEX typ AME-260S (Příloha A.1.15. Aerace). Vzduch je přiveden vzduchovým potrubím z dmychárny. Přístup a revizi umožňuje revizní lávka šířky 1m a délky 3,2 m. Vstup dovnitř nádrže je pomocí ocelového žebříku upevněného na horním okraji k revizní lávce, na dolním okraji zabetonovaného do dna nádrže.

### Parametry nádrže: (Příloha A.1.8. Chemické hospodářství)

Produkce přebytečného kalu:	V <sub>kal p</sub> =115,50 kg/den
Koncentrace přebytečného zahuštěného kalu:	X = 20Kg/m <sup>3</sup>
Produkce chemického kalu:	V <sub>kal ch</sub> =1239 Kg/den
Koncentrace chemického kalu	X = 20 Kg/m <sup>3</sup>
Celková produkce kalu:	V <sub>kal c</sub> = 1354,50 Kg/den
Koncentrace kalu po zahuštění:	X = 50Kg/m <sup>3</sup>
Celková doba zdržení:	Θ = 15 dní
Rozměry:	a=b=9 m, h=5 m
Objem nádrže:	V = 405 m <sup>3</sup>

### Kalová odstředivka

Kalová odstředivka slouží k odvodnění kalu, který byl zahuštěn v uskladňovací nádrži. Odvodněním se sníží jeho objem, a získá konzistenci zeminy, díky čemuž se dá nakládat, a dále využívat k různým účelům. Odstředivka je navržena na objem kalu po zahuštění.

Zahuštěný kal bude čerpán ze zahušťovací nádrže v předem zvolených cyklech kalovým čerpadlem do dekantační odstředivky. Množství čerpaného kalu bude závislé na zatížení odstředivky. Do vstupního potrubí odstředivky bude podle hodnoty průtoku dávkován flokulant na bázi polyelektrolytu. Příprava flokulantu bude probíhat ve stanici chemického

hospodářství, která bude součástí dodávky kalové odstředivky, stejně jako kalové čerpadlo zahuštěného kalu a dávkovací čerpadlo polyelektrolytu.

Odstředivka bude umístěna na ocelové konstrukci tak, aby odvodněný kal padal přímo do přistaveného kontejneru na kal. Odvodněný kal bude v pravidelných intervalech odvážen na skládku.

Odstředěná kalová voda bude čerpána zpět na vstup do aktivace společně s kalovou vodou z uskladňovací nádrže. Pro oplach odstředivky bude přivedena provozní voda z dosazovací nádrže. Tato voda bude po použití rovněž odtahována jako kalová voda na vstup do aktivace.

Voda pro přípravu flokulantu ve stanici chemického hospodářství bude přiváděna z nádrže chemicky vyčištěné neutralizované vody.

#### **Parametry kalové odstředivky: (Příloha A.1.8. Kalové hospodářství)**

Odvodnění kalu:	25 %
Doba provozu:	6 hod/den
Objem zahuštěného kalu:	$V = 26,06 \text{ m}^3/\text{den} = 4,34 \text{ m}^3/\text{hod}$
Výrobce:	Intrel
Typ:	Kalová odstředivka CBB - řada CD 25
Hydraulický výkon:	$5 \text{ m}^3/\text{hod}$
Výška:	1 250 mm
Průměr bubnu:	220 mm
Délka bubnu:	800 mm
Hmotnost:	600 kg
Příkon motoru:	5,5 kW

#### **Parametry stanice přípravy flokulantu:**

Rozměry:	500x2100x1950 mm
Kapacita:	1000 l/hod.
Koncentrace:	0,05 – 0,5 %
2 míchadla	
Motor dávkovače:	0,18 kW

#### **Čerpadlo kalu:**

Vřetenové čerpadlo s frekvenčním měničem

Kapacita:	$0,5 - 5 \text{ m}^3/\text{hod.}$
Elektrický motor:	1,1 KW

#### **Dávkovací čerpadlo flokulantu**

Kapacita:	$0,3 - 1 \text{ m}^3/\text{hod.}$
Elektrický motor:	0,55 KW

### 6.3.6 PS 5 Chemické hospodářství

Chemické hospodářství zahrnuje sklady, rozpouštěcí nádrže a systémy dávkování jednotlivých chemikálií. Návrh obsahuje příloha A.1.9. Chemické hospodářství.

Nádrže pro uskladnění a rozpouštění chemikálií jsou navrženy pouze s odhadem dávek chemikálií, pro další podrobnější výpočty by bylo nutné provést zkoušky účinku a dávkování na konkrétním vzorku OV.

#### Ca(OH)<sub>2</sub>

Ca(OH)<sub>2</sub> je dávkován jako vápenné mléko do koagulační nádrže při koncentraci roztoku 15 %. Ca(OH)<sub>2</sub> je bílý prášek, který se v rozmíchávací nádrži mísí s vodou za vzniku vápenného mléka. Rozmíchávací nádrž je kruhová nádrž z PE (Příloha A.1.9. Chemické hospodářství). Nádrž je míchána lopatkovým míchadlem poháněným elektromotorem. Rozpouštěcí voda bude přiváděna z dosazovací nádrže (provozní voda). Ca(OH)<sub>2</sub> je do rozmíchávací nádrže dávkován ze zásobníku Ca(OH)<sub>2</sub>. Dávkování roztoku vápenného mléka zajistí dávkovací čerpadlo. Dávka vápenného mléka se bude odvíjet od hodnoty pH přitékající vody. Optimální pH je okolo hodnoty 9.

#### FeSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O (skalice zelená)

FeSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O je světlezelený prášek. Jeho 15 % roztok se bude dávkovat do koagulační nádrže dávkovacím čerpadlem. Roztok se připravuje rozpouštěním práškové skalice v rozpouštěcí nádrži (Příloha A.1.9. Chemické hospodářství). Rozpouštěcí voda bude přiváděna z dosazovací nádrže (provozní voda). Prášková skalice bude přiváděna do rozpouštěcí nádrže ze zásobníku. Rozpouštěcí nádrž bude promíchávána středněbublinnou aerací (Příloha A.1.15. Aerace). Aerační elementy budou umístěny u dna nádrže. Odhadovaná dávka skalice zelené je 250 g/m<sup>3</sup>. Dávkování bude upraveno během provozu, velikost dávek se bude řídit aktuálním průtokem a znečištěním OV.

#### Superfloc (polyelektrolyt)

Superfloc je polyelektrolyt (derivát polyakrylamidu) dodávaný ve formě bílého prášku. Polyelektrolyt je flokulant, který slouží k vylepšení sedimentačních vlastností kalu. V lince je dávkován do flokulační míchané nádrže ve formě roztoku. Práškovou formu polyelektrolytu je nutné před použitím rozpustit ve vodě, což zahrnuje 3 kroky. Namočení, rozpuštění na zásobní koncentraci (0,3 – 1 %) a zředění na dávkovací koncentraci (0,05–0,3 %). Pro přípravu flokulantu bude sloužit Automatická stanice přípravy.

### 6.3.7 PS 6 Otevřené pískové filtry

Jsou navrženy 3 otevřené evropské filtry. Jedná se o betonové nádrže obdélníkového tvaru umístěné za dosazovací nádrží. Filtry jsou umístěny v uzavřené budově. Výškově jsou umístěny tak, aby nátok na filtry z dosazovací nádrže byl gravitační. Filtry slouží k oddělení jemných suspenzí z odpadní vody, které se nezachytí v dosazovací nádrži. Voda je rozdělena do tří proudů a přitéká na filtry přívodním potrubím umístěným v horní části filtru. Filtruje skrz pískovou filtrační vrstvu až k mezidnu, kde prochází svezovacími

hlavicemi do prostoru pod mezidnem. Odtud je odváděna do čerpací jímky filtrátu. Z prostoru pod mezidnem je zaveden také vývod do homogenizační nádrže. Tento vývod slouží k odvodu prvního zakaleného filtrátu. Filtr bude prán vodou a vzduchem. Do prostoru pod mezidnem je přivedeno potrubí prací vody a pracího vzduchu. Prací voda je čerpadlem přiváděna z čerpací jímky před RO. Vzduch je vytvářen dmychadlem umístěným v dmychárně. Pro praní vzduchem je navrženo samostatné dmychadlo. Voda při praní proudí zdola nahoru filtru. V horní vrstvě přepadá do přepadového žlabu a je odváděna potrubím do homogenizační nádrže.

Filtračním materiálem je křemičitý písek PF 11/16 (zrnitost 1,1 – 1,6 mm). Výška filtračního lože je 1,3m. Prostor pod mezidnem má výšku 0,6 m.

Hladina vody bude udržována ve výšce 0,5 m nad filtrační náplní. Tuto úroveň bude při měnících se přítocích udržovat regulační armatura instalovaná na potrubí filtrátu. Tato armatura bude rovněž regulovat rovnoměrný odtok ze všech filtrů.

Jak je uvedeno výše, praní filtrů bude probíhat vodou i vzduchem. První fázi bude tvořit praní vzduchem. Vzduch bude dmychadlem vháněn pod mezidno filtru tak, aby došlo působením bublin k rozrušení zrn filtru. Této fáze bude trvat 4 minuty. Intenzita pracího vzduchu bude  $18 \text{ l/m}^2/\text{s}$ . V druhé fázi bude filtr propírán současně vodou a vzduchem. Tato fáze bude trvat 8 minut. Intenzita pracího vzduchu klesne na  $15 \text{ l/m}^2/\text{s}$ , intenzita přívodu prací vody bude  $5 \text{ l/m}^2/\text{s}$ . Prací voda bude přepadovým žlabem odtékat odpadním potrubím. V třetí fázi bude probíhat pouze praní vodou. Intenzita přívodu vody bude  $6,5 \text{ l/s/m}^2$ . Třetí fáze bude trvat 15 minut. Po dobu 3 minut po regeneraci bude probíhat zfiltrování. V této fázi ještě zůstává část zrnek písku ve vzhledu a filtrace je nekvalitní. První filtrát z procesu zfiltrování bude odváděn odpadním potrubím pod mezidnem. Regenerace filtru zajistí odplavení nečistot ulpěných mezi zrny filtru. Dojde tak ke snížení tlakové ztráty a k obnově plné funkčnosti filtru.

Během praní jednoho z filtrů budou zbylé dva po dobu regenerace zatíženy vyššími průtoky. Návrh však zajišťuje nepřekročení maximální povolené rychlosti.

Parametry čerpadel na ozonizaci obsahuje příloha A.1.16. návrh dmychadla pro praní filtrů příloha A.1.13.

#### **Parametry filtrů: (Příloha A.1.10. Pískové filtry)**

Počet filtrů:	$n = 3$
Návrhový průtok:	$Q_n = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Plocha všech filtrů:	$S_f = 12,96 \text{ m}^2$
Plocha 1 filtru:	$S_1 = 4,32 \text{ m}^2$
Rozměry filtru: (b x l)	$1,8 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$
Filtrační rychlost:	$v_f = 3,9 \text{ m/hod}$
Max filtrační rychlost:	$v_{\max} = 5,8 \text{ m/hod}$ (v průběhu praní jednoho filtru)

### **Parametry čerpadel na odtoku: (Příloha A.1.16. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 1+1

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 50.5 \text{ m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 2.5 \text{ m}$$

**Navržená čerpadla:**

Výrobce: WILO

Typ: FA 10.51-147E + T 17-4/8HEX

### **6.3.8 PS 7 Ozonizace**

Systém ozonizace (AOP technologie) je umístěn za pískovými filtry. Voda je z filtrů odváděna k místu vnosu ozonu do čištěné OV. Návrh konkrétního systému ozonizace podle požadovaných parametrů provedl technolog DISA, v.o.s. (p. Beneš). Podrobný popis systému ozonizace a jednotlivých prvků je uveden ve studii 2. V této části jsou uvedeny pouze základní výpočty.

#### **Potřebná dávka ozonu** (Příloha A.1.11. Systém ozonizace)

Výpočet dávky ozonu pro tento konkrétní případ vycházel z testování ozonizace na cílové odpadní vodě. Odpadní voda byla testována na přítoku OV do ČOV (projekt AOP4WATER). Podle dosažených výsledků odbarvení byla vhodná dávka ozonu 100 g  $\text{O}_3/\text{m}^3$  OV. V případě instalace systému ozonizace za biologický stupeň (s předřazeným stupněm chemickým) je odhadována nižší spotřeba ozonu. Ozonizace zde slouží jako jeden ze stupňů dočištění OV, která již byla zbavena velkého podílu znečištění. Pro účely návrhu je odhad dávky pro dočištění 60% dávky na přítoku.

Ozonizace instalovaná za dosazovací nádrží slouží k chemickému dočištění OV. Voda může obsahovat zbytkové koncentrace barviv a CHSK, které aplikace ozonu účinně odstraňuje. Dochází také k oxidaci některých ve vodě obsažených látek (např. Fe, což je žádoucí z důvodu následného odstraňování železa na odželezovacích filtrech). V případě instalace zařízení ozonizace by bylo nutné provést další testování a optimalizaci dávky tak, aby byla zajištěna účinnost při všech hodnotách zatížení.

Dávka ozonu:  $c = 60 \text{ g O}_3/\text{m}^3 \text{ OV}$

Návrhový průtok OV  $Q_{dp} = 50 \text{ m}^3/\text{hod}$

Celková potřeba ozonu:  $K_o = 3000 \text{ gO}_3/\text{hod}$

#### **Generátor ozonu**

##### **Parametry generátoru:**

Výkon generátoru:  $3 \text{ Kg O}_3/\text{hod}$

Koncentrace  $\text{O}_3$  v plynu:  $12 \% \text{ hm.} (= 179 \text{ gO}_3/\text{m}^3 \text{ plynu})$

Spotřeba  $\text{O}_2$ :  $16,76 \text{ m}^3/\text{hod}$

Pracovní plyn: LOX (kapalný kyslík v zásobníku)

Teplota chladicí vody na vstupu:	15 °C
Průtok chladicí vody:	10,1 m <sup>3</sup> /hod
Spotřeba elektrické energie:	11,46 kWh/ Kg O <sub>3</sub>

### **Zásobník kapalného kyslíku**

Ke generaci ozonu bude využíván kapalný kyslík (LOX). Kyslík bude skladován v zásobníku kapalného kyslíku. Součástí bude odpařovací stanice kapalného kyslíku a vlastní zásobník kyslíku. Typ zásobníku kapalného kyslíku navrhl Ing. Vlček (Linde Gas)

#### **Parametry zásobníku kyslíku: (Příloha A.1.11. Systém ozonizace)**

Hodinová spotřeba kyslíku:	$V_o = 16,76 \text{ m}^3/\text{hod}$ plynného O <sub>2</sub>
Denní spotřeba kyslíku:	$V_{od} = 312,83 \text{ l}$ kapalného LOX
Měsíční spotřeba kyslíku:	$V_{om} = 7507,95 \text{ l}$ kapalného LOX
Objem zásobníku:	$V_z = 18\,400 \text{ l}$
Četnost plnění:	1 x za 10 týdnů

Ostatní prvky systému ozonizace jsou navrženy pro stejný návrhový průtok jako ozonizace ve studii 2, jsou tedy totožné a jejich podrobnější popis je uveden ve studii 2 dále v textu.

### **6.3.9 PS 8 Odželezovací filtry**

Odželezovací filtry by bylo nutné do linky zařadit z důvodu předpoklady zvýšené koncentrace Fe ze stupně chemického srážení. V rámci studie nebyl proveden návrh filtrů, pouze návrh potřebné filtrační plochy zařízení. Dodavatel RO nabízí v rámci svých služeb i donávrh technologií potřebných k dočištění vody před vstupem na RO.

Filtrační plocha – Příloha A.1.12. Odželezovací filtry

### **6.3.10 PS 9 Reversní osmóza**

Systém reverzní osmózy by bylo nutné do linky zařadit za účelem odstranění vysokých podílů anorganických solí z výroby, jejichž koncentrace klasické čistírenské postupy nejsou schopny zredukovat. Obsah těchto solí je u procesní vody pro barvení přísně limitován (viz. Tab. 32 Parametry procesní vody). Návrh reverzní osmózy v rámci studie nebyl proveden. Návrh systému reversní osmózy je velmi komplexní a komplikovaný proces, který je vždy prováděn pouze specializovanými odborníky. Projektanti při návrhu využívají výpočetní software dodávaný přímo od výrobců systému. Je nutné brát v potaz řadu parametrů, které mimo jiné zahrnují kvalitu vstupní vody a požadovanou kvalitu na výstupu. V následujícím textu je pouze uveden stručný popis systému RO. Základní informace o systému RO poskytl Ing. Žižka, MEGA a.s.

RO odděluje z vody částice v rozsahu velikosti 0,1 – 1 nm. Dochází tak k odstranění iontů rozpuštěných solí a atomů. Účinnost odstranění minerálních solí se pohybuje v rozmezí 90-98 % (chloridy, sírany, dusičnany aj.). Současně je RO účinná při odstraňování barviv a vedla by k odstranění případného zbytkového zabarvení. Transmembránový tlak se odvíjí od koncentrace dolů v surové vodě a tedy od hodnoty osmotického tlaku. Permeát dosahuje 70 – 80 % vstupního množství vody, v závislosti na složení.

Na kvalitu vody vstupující do RO jsou kladeny vysoké požadavky (viz. Tab.) Před vlastním vstupem je tedy nutné vodu vhodným způsobem předčistit, a to dle parametrů upravované vody. Jako možné předstupně se využívají čiření, písková filtrace (odstranění jemných suspenzí), odželezovací filtry, filtrace na aktivním uhlí (odstranění Cl, zápachu, organických kontaminantů), Dávkování chemikálií ( $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ , POF,  $\text{NaHSO}_3$ , a jiné dle složení vody, Dávkování minerální kyseliny ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ) nebo antiscalantu, Filtrace na vinutých svíčkách (5 – 20 mikronů) a další technologie dle složení vody. Tyto předstupně jsou doporučeny a navrženy rovněž dodavatelem RO.

**Tab. 33 Limitní koncentrace vybraných ukazatelů pro RO**

Parametr	pH	Koloidní index SDI15	CHSK <sub>Cr</sub>	Chlor	Fe celk.	Mn celk.
Limit (mg/l)	4– 8	< 3	<0,3 NTU	<11	< 0,1	<0,05
Voda bez tuků, olejů, oxidačních činidel, organických rozpouštědel						
Dále limitován: obsah barya, stroncia, hliníku, fosforečnanů						

Prvky systému RO (dodávané jako komplet)

- čerpadlo podávací
- čerpadlo vysokotlaké
- tlakové nádoby na RO moduly
- RO moduly
- el. rozvaděč s řídicím systémem, PLC
- Měření a regulace:
  - a. vstupní tlak
  - b. pracovní tlak
  - c. vstupní vodivost
  - d. výstupní vodivost
  - e. teplota vstupní vody
  - f. průtokoměr vstup DN80
  - g. průtokoměr koncentrát DN32
- předfiltr vč. 5 vložek, odvzdušnění a odkalení
- potrubí/armatury nerez
- sanitační nádrž

MEGA nabízí uvedené příslušenství v rámci základní nabídky. Voda je čerpána podávacím čerpadlem z nádrže vstupní vody. Voda je vedena před předfiltr do tlakových nádob, ve kterých jsou umístěny RO moduly. Potřebný tlak v systému zajišťuje vysokotlaké čerpadlo. U vstupní i výstupní vody je průběžně měřena vodivost (obsah solí).

V průběhu filtrace dochází postupně k zanášení RO membrán, které se projevuje nárůstem vodivosti na výstupu. Za provozu nejsou RO moduly udržovány aerací nebo zpětným proplachem jako u jiných membránových modulů, mohlo by dojít k poškození membrán.



Pokud vodivost neodpovídá stanoveným hodnotám, je nutné provést chemickou regeneraci (CIP). K regeneraci slouží sanitační nádrž (součást dodávky RO).

K chemickému čištění se používají roztoky kys. Citronové (cca 8 Kg/1 čištění) a NaOH (1 Kg/ 1 čištění). Jedná se o 100% chemikálie. Roztoky jsou čerpány podávacím čerpadlem přímo do sanitační nádrže. Čištění je nutné provádět 4x ročně.

Pro RO se používají spirálově vinuté modely na bázi polyamidu. Jejich životnost se předpokládá 3 roky, po této době je nutné tlakové nádoby otevřít a membránové moduly vyměnit.

Permeát RO je odváděn do stávající nádrže procesní vody umístěné v areálu podniku. Přívod permeátu bude na vtoku do nádrže. Zde bude docházet k mísení s vodou z toku (nutné z důvodu cca 30 % ztráty vody na RO).

Vzniklý koncentrát představuje poměrně velký problém z hlediska odstranění. Možnosti které se nabízejí jsou odvod koncentráту na přítok na ČOV (zde by ale docházelo ke kumulaci anorganických solí). Další možností je tzv. deep well injection (tj. natlačení koncentráту do vrtů) nebo zkoncentrování v odpařovací stanici a následně krystalizaci. Ve vnitrozemí v teplých podmínkách se využívají solární evaporační rybníky.

## 6.4 STUDIE 2 – ZAŘAZENÍ AOP PŘED BIOLOGICKÝ STUPEŇ

Studie 2 navrhuje linku pro čištění směsné odpadní vody s umístěním AOP technologie na přítok surové odpadní vody, před biologický stupeň čištění. S touto koncepcí uvažuje projekt AOP4WATER, jehož cílem je optimalizace AOP technologií a biologického stupně tak, aby bylo možné výstupní vodu využít v procesu výroby.

### Areál a objekty ČOV

ČOV bude umístěna po levé straně toku Březná, v těsné blízkosti podniku. Již nyní existuje trubní přívod odpadních vod z podniku. Potrubí podchází vodní tok Březná a přivádí OV na parcelu, kde bude umístěna čistírna. ( Příloha B.2.2. Přehledná situace ČOV)

Areál navržené ČOV má rozlohu cca 2513 m<sup>2</sup>. Celý areál je oplocen drátěným pletivem výšky 2 m. Vstupní brána o šířce 3 m je umístěna v západní části areálu. Přístup k jednotlivým stavebním objektům a technologiím v areálu umožňuje zpevněná asfaltová komunikace šířky 3 m. Pro objekty mimo dosah komunikace je vybudován chodník. Objekty čistírny budou umístěny nad hladinou Q100.

**Provozní soubory a objekty ČOV** (Příloha B.3. Podrobná situace ČOV a B.1. Technologické schéma)

- Provozní budova

#### PS 1 – Mechanické předčištění

- Bubnový šroubový filtr
- Vyrovnávací a homogenizační nádrž

#### PS 2 – Ozonizace

- generátor ozonu
- vnos kyslíku do vody
- reakční nádrž
- zásoba kyslíku

#### PS 3 – Biologické čištění

- Aktivační nádrž
- Nádrž membrán
- Membrány
- Dmychárna

#### PS 4 – Kalové hospodářství

- čerpací stanice vratného a přebytečného kalu
- Uskladňovací nádrž
- Kalová odstředivka

#### PS 5 - Chemické hospodářství

#### PS 6 - Reversní osmóza

Technologie čištění je přehledně znázorněna na technologickém schéma, příloha B.2.1. Technologické schéma ČOV 2.

## 6.4.1 Odhad účinnosti jednotlivých stupňů linky

Tab. 34 Odhad Koncentrace znečištění na vstupu do jednotlivých stupňů linky (Příloha A.2.15)

Parametr	vstup do ČOV	Vstup do ozonizace	Vstup do aktivace	Výstup z aktivace	Výstup z membránové nádrže	Emisní limity vypouštěných OV(dle 229/2007sb.)
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
BSK <sub>5</sub>	260,3	249,9	249,9	15	5	50
CHSK <sub>Cr</sub>	824,3	791,3	741,9	150	25	300,0
NL	306,5	245,2	147,1	25	1	40,0
Nanorg	23,7	22,5	22,5	5	1	15
Pc	2,2	2,1	2,1	1	0,3	2
Barva(nm)	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1	-
Fe	-	-	-	-	-	-
RAS	1236	-	-	-	-	2000

### Provozní budova

Provozní budova se bude skládat ze tří oddělených částí. První část je správní budova s půdorysnými rozměry 6,0 x 7,5 m. Druhá část je technologická hala s půdorysným rozměrem 9,5 x 8,0 m. Třetí část je technologická místnost pro umístění zřízení reversní osmózy. Správní budova bude zahrnovat velín, sklad, a sociální zařízení(WC+sprchy) a šatny. V technologické hale bude umístěna kalová odstředivka, kontejner na odvodněný kal a generátor ozonu s příslušenstvím (viz kap. 6.4.1.3.). Vstup do technologické haly budou zajišťovat vrata 2,5 x 2,5 m umožňující instalaci a manipulaci s vestavěným zařízením. Technologická hala bude propojena se správní budovou dveřmi 2,2 x 1 m. V samostatných místnostech s vlastními vstupy zvenku budou umístěna dmychadla v jedné místnosti a chemické hospodářství ve druhé místnosti. Dmychadla budou dodávat vzduch do aktivační, uskladňovací a membránové nádrže.

## 6.4.2 PS 1 Mechanické předčištění

### Bubnový šroubový filtr

Odpadní vody přitékající kanalizací z podniku jsou přiváděny k objektu mechanického předčištění. Tvoří je bubnový šroubový filtr umístěný v otevřeném kanálu.

Bubnový šroubový filtr je totožný s filtrem použitým ve studii 1 a má stejné parametry, dále tedy není rozepisován. (Příloha A.2.2. Mechanické předčištění)

### Vyrovňovací a homogenizační nádrž

Vyrovňovací a homogenizační nádrž je betonová obdélníková otevřená nádrž, která slouží k vyrovnaní hydraulického a látkového zatížení čistírny. Vyrovnaní eliminuje maxima i minima průtoků, zajišťuje optimální podmínky pro čištění OV. Odpadní voda bude do nádrže přiváděna z mechanického předčištění.

Návrh parametrů nádrže a technologického vybavení (čerpadla, míchadla) je identický jako ve studii 1, dále tedy není rozepisován. (Příloha A.2.3. Vyrovňovací a homogenizační nádrž), (Příloha A.2.13. Návrh čerpadel)

### 6.4.3 PS 2 – Ozonizace

Ozonizace v návrhu nahrazuje technologii chemického srážení, slouží k odstranění největšího podílu barviv. Použití této alternativy s sebou nese výhody i nevhody. Mezi nevýhody patří nižší účinnost při odstraňování některých znečištění, jako CHSK, BSK a NL. Výraznou výhodou oproti srážení však představuje nulový vnos nežádoucích látek do vody a produkce nulového odpadu. Z tohoto důvodu je možné provést návrh biologické části formou membránových bioreaktorů, jelikož do vody nejsou vnášeny prvky, které by použití membrán omezovaly a odborná literatura se k jejich použití u odpadních vod z barvení staví kladně. Zařazení membrán tak v celém návrhu značně usnadní řešení dočištění OV.

Systém ozonizace (AOP technologie) je umístěn za homogenizační nádrží. Voda je z homogenizační nádrže čerpána (kapacita čerpadel odpovídá  $Q_{dp}$ ) k místu vnosu ozonu do čištěné OV. Návrh konkrétního systému ozonizace podle požadovaných parametrů provedl technolog DISA, v.o.s. (p. Beneš). Následující popis systému ozonizace byl zpracován podle podkladů poskytnutých DISA v.o.s. Ozonizace je poměrně komplikovaný a komplexní systém, je navrhován a dodáván vždy specializovanou firmou.

#### Potřebná dávka ozonu (Příloha A.2.4. Systém ozonizace)

Výpočet dávky ozonu pro tento konkrétní případ vycházel z testování ozonizace na cílové odpadní vodě. Podle dosažených výsledků odbarvení byla zvolena dávka ozonu 100 g  $O_3$ /m<sup>3</sup> OV. V případě instalace zařízení ozonizace by bylo nutné provést další testování a optimalizaci dávky tak, aby byla zajištěna účinnost při všech hodnotách zatížení.

Dávka ozonu:	$c = 100 \text{ gO}_3/\text{m}^3 \text{ OV}$
Návrhový průtok OV	$Q_{dp} = 50 \text{ m}^3/\text{hod}$
Celková potřeba ozonu:	$K_o = 5000 \text{ gO}_3/\text{hod}$

#### Prvky systému ozonizace

- generátor ozonu WEDECO SMO 600
- vnitřní řídicí systém (PLC) generátoru ozonu s modulem pro řízení dávky
- analyzátor ozonu v plynu
- analyzátor úniku ozonu na rámu generátoru
- systém pro distribuci ozonu do místa vnosu WEDECO GDA
- GDS systém Statiflo pro vnos ozonu do vody
- destruktor ozonu WEDECO
- Reakční nádrž
- Zásobník kyslíku

#### **Generátor ozonu**

Navržený generátor ozonu:

Generátor ozonu **WEDECO**  
**EFFIZONE ® HP, typ SMO 600**

### **Parametry generátoru:**

Výkon generátoru:	5 Kg O <sub>3</sub> /hod
Koncentrace O <sub>3</sub> v plynu:	12 % hm.( = 179 gO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> plynu)
Spotřeba O <sub>2</sub> :	27,93 m <sup>3</sup> /hod
Pracovní plyn:	LOX (kapalný kyslík v zásobníku)
Teplota chladicí vody na vstupu:	max 15 °C
Průtok chladicí vody:	10,1 m <sup>3</sup> /hod
Spotřeba elektrické energie:	11,46 kWh/ Kg O <sub>3</sub>
Rozměry generátoru:	3920 x 1050 x 2210 mm
Hmotnost generátoru:	3200 Kg
Rozsah pracovních teplot:	5 – 35 °C

Byla zvolena varianta s nižší spotřebou kyslíku a vyšší spotřebou elektrické energie.

Generátor SMO 600 bude vyrábět směs ozonu a kyslíku (12 hm% O<sub>3</sub>) z kapalného kyslíku (viz zásoba kyslíku). Vzniklá směs bude dávkována do hlavního proudu přitékající odpadní vody (potrubí DN 150, čerpání z vyrovnávací nádrže) v jednom místě vnosu.

### **Chladicí systém**

Část elektrické energie pro generaci ozonu je přeměňována na teplo. Součástí generátoru je chladicí systém z nerezové oceli. Generátor ozonu bude chlazen pomocí uzavřeného okruhu s vodou. Teplota chladicí vody na vstupu je max. 15 °C.

Chladicí okruh bude sestávat z tepelného výměníku generátoru ozonu, chladicí jednotky, recirkulačního čerpadla a propojovacího potrubí mezi výměníkem a chladičem. Chladicí okruh bude naplněn pitnou vodou (umístění v temperované místnosti). Recirkulačním čerpadlem bude chladicí voda poháněna chladicím okruhem. Při průchodu generátorem dojde ke zvýšení její teploty cca o 5 °C. V chladicí jednotce s vlastním vnitřním chladicím okruhem dojde k opětovnému ochlazení necirkulované vody.

### **Vnitřní Řídící systém (PLC)**

poskytuje informace o provozu, parametry procesu a grafická zobrazení. Je přizpůsobený pro napojení na nadřazený systém. Řídí proces generování ozonu.

Vnitřní řídící systém kontroluje následující funkce :

- funkci vlastního generátoru ozonu
- řízení dávky ozonu
- průtok chladicí vody
- teplotu chladicí vody
- činnost destruktora ozonu
- činnost analyzátoru koncentrace ozonu v plynu

- řízení výrobní kapacity generátoru na základě nastavené dávky a signálu o průtoku vody

Systém na základě zadané dávky ozonu v  $\text{g/m}^3$  a požadované koncentrace ozonu v plynu vypočte potřebné množství ozonu a podle něj nastaví průtok plynu.

### **Analyzátor koncentrace ozonu v plynu**

Zařízení je tvořeno ultrafialovým absorpčním fotometrem pro měření koncentrace ozonu ve vyráběném plynu. Rozsah měření 1 – 15 hm. %. Je součástí generátoru ozonu.

### **Analyzátor úniku ozonu na rámu generátoru**

Měří koncentraci ozonu v okolním vzduchu a kontroluje tak případný únik. Je umístěný na rámu ozonizátoru. V případě zvýšení koncentrace vydá varovné hlášení nebo vypne generátor.

### **Systém pro distribuci (GDA) a vnos(GDS) plynu do OV**

Plyn bude přiváděn k místu vnosu do vody pomocí systému distribuce plynu plynem WEDECO GDA. Tento systém bude umístěn vedle generátoru ozonu, na přívodu homogenizované odpadní vody. Směs plynů je z ozonizátoru přivedena nerezovým potrubím přímo k systému GDA. Systém GDA reguluje průtok plynu k injektoru. Injektor je součástí systému pro rozpouštění ozonu ve vodě. Pro rozpouštění plynu je navržen statický mísič STATIFLO DN 150 ( $Q_{\text{max}} = 80 \text{ m}^3/\text{hod}$ ). Mísič bude vřazen do potrubí s hlavním proudem přitékající OV (DN 150). Z hlavního proudu je odebírán čerpadlem menší proud k injektoru, kde dochází ke vstřikování směsi ozonu a kyslíku. Voda s nadávkovaným plynem odtéká do před-disperzního mísiče a dále do hlavního mísiče, kde dojde ke smísení hlavního proudu vody s vedlejším proudem s nadávkovaným plynem. Statický mísič zajišťuje dokonalou homogenizaci obou proudů. Účinnost vnosu ozonu do vody je 95%. (údaje DISA).

### **Destruktor ozonu**

Destruktor slouží k destrukci ozonu, který se nerozpustí v reakční nádrži. Přebytný ozon bude odveden do destrukturu, kde dojde k jeho destrukci tak, aby koncentrace ozonu ve výstupním plynu byla  $< 0,1 \text{ ppm}$ . Destruktor bude řešen jako katalytický.

### **Parametry destrukturu:**

Typ:	Katalytický
Výkon destrukturu:	300 W
Výkon ventilátoru:	650 W

### **Reakční nádrž**

Parametry nádrže jsou totožné s reakční nádrží ve studii 1.

## **Zásoba kapalného kyslíku**

Ke generaci ozonu bude využíván kapalný kyslík (LOX). Kyslík bude skladován v zásobníku kapalného kyslíku. Součástí bude odpařovací stanice kapalného kyslíku a vlastní zásobník kyslíku. Odpařovací stanice bude postavena na betonové základové desce. Systém dodávky kyslíku bude oplocen se zavedením vlastního osvětlení a elektroinstalace. Typ zásobníku kapalného kyslíku navrhl Ing. Vlček (Linde Gas)

### **Parametry zásobníku kyslíku: (Příloha A.2.4. Systém ozonizace)**

Hodinová spotřeba kyslíku:	$V_o = 27,9 \text{ m}^3/\text{hod}$ plynného $\text{O}_2$
Denní spotřeba kyslíku:	$V_{od} = 521,4 \text{ l}$ kapalného LOX
Měsíční spotřeba kyslíku:	$V_{om} = 12513,25 \text{ l}$ kapalného LOX
Objem zásobníku:	$V_z = 18\,400 \text{ l}$
Četnost plnění:	1 x za 6 týdnů

## **Neutralizační nádrž**

Neutralizační nádrž je podzemní betonová nádrž čtvercového půdorysu. Přitékají do ní chemicky vyčištěná odpadní voda ze sedimentační nádrže.

Parametry nádrže a její strojní vybavení (čerpadla) je stejné jako ve studii 1. (Příloha A.2.5. Neutralizační nádrž), (Příloha A.2.13. Návrh čerpadel).

## **6.4.4 PS 3 Biologické čištění**

### **Aktivační nádrž**

Aktivační nádrž slouží k biologickému čištění odpadních vod. Je navržena směšovací aktivační nádrž, která má podobu otevřené nadzemní nádrže kruhového půdorysu. Jedná se o nádrž šroubovanou ze smaltovaných plechů. Dodavatelem těchto nádrží je Vítkovice Power engineering a.s. Jedná se o stejný typ jako ve studii 1. Specifikace rozměrů nádrže po počtu lubů je uvedena v příloze xxx.

Do nádrže je voda přiváděna z neutralizační nádrže potrubím o DN250, zaústěným pod hladinu vody v nádrži. Nádrž je vybavena jemnobublinnou aerací FORTEX, a míchadly Flygt. V nádrži se střídají aerobní a anaerobní podmínky. V aerobní fázi (cca 2 hod) je odpadní voda se znečištěním provzdušňována, dochází k biologické degradaci organického znečištění, a k nitrifikaci. Poté se podmínky v nádrži změň na anaerobní (cca 1 hod). Toho je docíleno vyřazením aerace a intenzivním promícháváním obsahu nádrže, až dojde ke spotřebování veškerého kyslíku. V anaerobních podmínkách probíhá denitrifikace. Tyto dvě fáze jsou zařazeny kvůli účinnému odstranění nutrietů (dusíku) z odpadní vody. Střídání a průběh nitrifikace a denitrifikace je řízeno podle aktuální koncentrace kyslíku v nádrži (kyslíková sonda).

V nádrži je navržena objemová rezerva  $V_r$  pro vyrovnání průtoků do následující membránové nádrže. Odtok z aktivační nádrže bude opatřen uzavíráním elektroarmatury tak, aby maximální odtok byl  $Q_{dp}$ .

Přístup k nádrži umožňuje ocelové schodiště. Přes nádrž je zřízena pochůzí lávka šířky 1,2 metrů, opatřená zábradlím výšky 1,2m. Na lávce je upevněna kyslíková sonda. Kolem nádrže je rovněž zábradlí o výšce 1,2m. Vstup dovnitř nádrže je po ocelovém žebříku ukotveném ve stěně. Na dně nádrže jsou v pravidelných rozestupech umístěny jemnobublinné aerační elementy FORTEX (Příloha A.2.13. Aerace). Vzduch je přiváděn z dmychadel, umístěných v armaturní komoře pro dmychadla vedle aktivační nádrže. Ve dvou protilehlých rozích jsou umístěna dvě míchadla. Odtok je vzhledem k přítoku umístěn v protilehlé části nádrže. Je opatřen nornou stěnou. Voda se přelévá přes přelivnou hranu do sběrného žlabu, a odtud přechází do potrubí k dosazovací nádrži.

Na přítok nádrže je přiváděn vratný kal z membránové nádrže a kalová voda z uskladňovací nádrže a kalové odstředivky. Recirkulační poměr vratného kalu je 500 %. V aktivační nádrži je udržována vysoká koncentrace aktivovaného kalu 10 Kg/m<sup>3</sup>. Tato hodnota je umožněna instalací membránových modulů namísto dosazovací nádrže. U aktivovaného kalu tak nejsou hlavní prioritou dobré sedimentační vlastnosti (které by byly zajištěny při nižších koncentracích aktivovaného kalu). Kal je účinně oddělován filtrací aktivační směsi přes mikrofiltrační membrány. Aktivace je navržena jako nízkozatěžovaná s aerobní stabilizací kalu. Vysoká hodnota koncentrace aktivovaného kalu vede k redukci potřebného objemu aktivační nádrže. Doba zdržení v nádrži je nižší než u konvenčních systémů. Produkce kalu je díky nízkému zatížení také nižší.

Rozdíl oproti studii 1 tvoří odlišné vstupní znečištění do aktivace. Předřazená ozonizace nevede k redukci BSK, CHSK a NL v takové míře, jako stupeň chemického srážení. Výhodou je zato nižší vnos chemikálií do vody (nižší koncentrace kovů aj.) a účinné odstranění zabarvení.

#### **Parametry nádrže: (Příloha A.2.6. Aktivační nádrž)**

Počet nádrží:	$n = 1$
Průtok:	$Q_{dp} = 808,16 \text{ m}^3/\text{den}$
Látkové zatížení:	$B_x = 0,05 \text{ Kg/Kg/den}$
Doba zdržení:	$\Theta = 16,1 \text{ hod}$
Produkce kalu:	$V_{kal} = 114,37 \text{ kg/den}$
Objem kalu v aktivaci:	$W_s = 4039,00 \text{ m}^3$
Stáří kalu:	$\Theta_x = 35,3 \text{ dní}$
Koncentrace kalu:	$X = 10 \text{ Kg/m}^3$
Rozměry:	$h = 4,8 \text{ m}, D = 10,4 \text{ m}$
Objem nádrže:	$V_{AN} = 542,6 \text{ m}^3$
Objemová akumulace:	$V_r = 104,4 \text{ m}^3$
Recirkulační poměr:	$R = 500 \%$

#### **Míchadla:**

Míchání obsahu nádrže zajistí 2 instalovaná míchadla. Návrh a umístění provádí výrobce.



## Nádrž membrán

Nádrž je navržena jako podzemní betonová vodotěsná s obdélníkovým půdorysem. Její rozměry jsou dimenzovány podle rozměrových charakteristik membránových modulů.

Voda s aktivovaným kalem do nádrže přitéká z aktivační nádrže potrubím DN 200 pod úroveň hladiny. Přítok je regulován elektroarmaturou umístěnou na odtoku z AN. Elektroarmatura uzavírá odtokové potrubí tak, aby maximální přítok do membránové nádrže odpovídal  $Q_{dp}$ . Membrány jsou zatíženy rovnoměrně.

Návrž bude v 1/3 šířky přemostěna rampou šířky 300 mm, která bude sloužit jako podpora pro sběrné potrubí permeátu jedné krajní a prostřední řady modulů.

V nádrži membrán je rovnoměrně rozmístěno 15 membránových modulů (popis dále). Z každé strany modulu je ponechán prostor 0,5 m pro manipulaci při chemickém čištění.

Do nádrže je zaveden přívod vzduchového potrubí k aeračním elementům, které jsou součástí membránových modulů. Středněbublinná aerace slouží k mechanickému průběžnému čištění povrchu membrán. Zabraňuje ulpívání látek na jejich povrchu a udržuje tak hodnotu Fluxu na vysoké hodnotě. Pro mechanické čištění modulů bude využíván pouze vzduch. Zpětný proplach navržené deskové membrány neumožňuje.

Voda bude odčerpávána přes membrány čerpadly permeátu umístěnými v horní části každého z modulů do nádrže permeátu. Čerpaný průtok se bude odvíjet od aktuálního přítoku odpadních vod.

Směs vody a aktivovaného kalu je z membránové nádrže čerpána zpět do aktivace jako vratný kal. Čerpání je zajištěno dvěma čerpadly vratného kalu, umístěnými v čerpací jímce mezi aktivační nádrží a nádrží membránových modulů. Velikost recirkulačního průtoku se řídí okamžitým přítokem odpadních vod. Recirkulační poměr má hodnotu  $R=500\%$ . Recirkulace udržuje koncentraci kalu v aktivaci na stálé hodnotě ( $X = 10 \text{ Kg/m}^3$ ). Koncentrace kalu v aktivaci je průběžně měřena. Při zvýšení hodnoty nad požadovanou úroveň je část kalu otažena čerpadlem přebytečného kalu do uskladňovací nádrže.

Nádrž bude vybavena jeřábovou dráhou pro manipulaci s membránovými moduly při chemickém čištění, kdy budou přemístěny do regenerační nádrže.

### Parametry nádrže: (Příloha A.2.7. Návrh membránových modulů )

Počet nádrží:	$n = 1$
Dimenzováno na průtok:	$Q_{dp} = 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Rozměry(š x d):	$8 \times 6,5$
Hloubka vody:	$h = 2,5 \text{ m}$
Celková výška nádrže:	$h_c = 2,8 \text{ m}$
Užitný objem:	$V = 130 \text{ m}^3$

## Membránové Moduly

Byly navrženy moduly z deskových ultrafiltračních membrán SiClaro. Membrány jsou vyrobeny z organických polymerů, velikost pórů je  $<0,1\mu\text{m}$ . Voda přefiltrovaná skrz

membrány splňuje požadavky na vodu ke koupání podle nařízení 75/160 EEC. Malé organické molekuly, rozpuštěné látky, a ionty projdou skrz.

#### **Parametry výpočtu: (Příloha A.2.7. Návrh membránových modulů)**

Návrhový průtok	$Q=Q_{dp}= 800 \text{ m}^3/\text{den}= 50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Průměrný průtok přes membránu:	$J_p= 18,2 \text{ l.m}^{-2}.\text{hod}^{-1}$
Skutečný průtok membránou:	$J_{psk}= 14,6 \text{ l.m}^{-2}.\text{hod}^{-1}$
Návrhový průtok:	$J_n= 15,5 \text{ l.m}^{-2}.\text{hod}^{-1}$
Návrhová filtrační plocha:	$A = 3259 \text{ m}^2$
Plocha jednoho modulu:	$A_1 = 225 \text{ m}^2$
Počet modulů:	$n= 15 \text{ ks}$

#### **Membránový modul SiClaro TYP FM 6123**

Filtrační plocha	$A= 225 \text{ m}^2$
Průměrný denní průtok:	$Q_p= 98,28 \text{ m}^3/\text{den}$
Maximální denní průtok:	$Q_{max}= 146,9 \text{ m}^3/\text{den}$
Rozměry (LxBxH):	1940x666x1960 mm
Hmotnost modulu:	$m= 120,0 \text{ Kg}$

#### **Provoz modulů: (Příloha A.2.7. Návrh membránových modulů)**

##### **Cykly filtrace:**

8 minut filtrace + aerace

2 minuty aerace

K omezení zanášení membrány budou moduly provzdušňovány hrubobublinnou aerací, aerátory jsou zabudované v základové části každého modulu. Provzdušňování bude probíhat i v průběhu filtrace. Vzduch dodávají dmychadla (Příloha A.2.11. Návrh dmychadel) umístěna v provozní budově.

Plocha membránových modulů je navržena na průměrný denní průtok (vyrovnání přítoků zajišťuje na vstupu čistírny vyrovnávací nádrž, k dalšímu vyrovnání případných kolísání bude sloužit rezervní akumulace v aktivací nádrži. Tyto akumulace jsou navrženy vždy jen přibližně, na dobu zdržení, z důvodu absence podkladů o hodinovém rozložení přítoků na ČOV během pracovní doby podniku.

Permeát bude odčerpáván čerpadly permeátu umístěnými v armaturní komoře vedle nádrže membrán. Tato čerpadla jsou součástí dodávky membránových modulů, stejně jako aerační elementy v základu modulu. Hodnota čerpaného průtoku se bude řídit aktuálním přítokem odpadních vod do nádrže membrán. Prítok bude měřen vodoměrem umístěným před vstupem do nádrže membrán.

##### **Chemické čištění:**

Odhadovaná četnost chemického čištění je 6 měsíců. Regenerace bude probíhat ve speciální nádrži, umístěné vedle nádrže membrán. Modul bude do nádrže přemístěn

pomocí jeřábové dráhy. Do nádrže budou přiváděny čistící roztoky dávkovacím čerpadlem z provozní budovy. V provozní budově je pro uskladnění chemikálií zřízena místnost se samostatným vstupem. Protože jednou ze sloučenin bude NaClO, musí být sklad chemikálií odvětrávaný.

Do regenerační nádrže bude umístěno 5 modulů. Doba regenerace membrány bude 6 h, po tuto dobu budou zbylé jednotky stále v provozu. Průtok zbylými moduly bude po dobu chemické regenerace krátkodobě vyšší (viz níže), vzhledem k odolnosti membrán však stále přijatelný.

Prací průtok membránami:  $J_p = 22,4 \text{ l.m}^{-2}.\text{hod}^{-1}$

#### **Použité chemikálie:**

Kyselá reakce:	kys. Citronová
Zásaditá reakce:	NaClO
	NaOH

#### **Dávky chemikálií (odhad)**

Kys. Citronová:	$c = 300,0 \text{ mg/l}$
NaClO:	$c = 250,0 \text{ mg/l}$
NaOH:	$c = 250,0 \text{ mg/l}$

#### **Nádrže pro chemickou regeneraci membrán: ((Příloha A.2.7. Návrh membránových modulů))**

Počet nádrží:	$n = 1$
Hloubka:	$h = 2,5 \text{ m}$
	$a = 2,6 \text{ m}$
	$b = 6,5 \text{ m}$
	$h_v = 2,2 \text{ m}$
Objem roztoku v nádrži:	$V_n = 37,18 \text{ m}^3$

Celková doba regenerace membrán bude 6 hodin. Z toho první 3 hodiny bude membrána ponořena v roztoku organické kyseliny citronové, a další 3 hodiny bude použit roztok NaClO s NaOH. Vnitřní povrch nádrže bude opatřen ochranným nátěrem.

#### **Zneškodnění chemikálií**

Roztoky budou z regenerační nádrže vypouštěny do neutralizační nádrže umístěné u vyrovnávací nádrže. V této nádrži dojde ke smísení chemikálií a k částečné neutralizaci. Koncentrovaný roztok bude potom z „neutralizační nádrže“ dávkován po malých dávkách dávkovacím čerpadlem(příloha A.5) na přítok do čerpací jímky Dávkování chemikálie se projeví zvýšením CHSK a RAS. Vzhledem k velkému objemu vyrovnávací nádrže a malým dávkám bude ovlivnění velmi malé.

**Objem neutralizační nádrže:**  $V = 74,4 \text{ m}^3$

**Rozměry:**

$a = 4,0 \text{ m}$
$b = 6,2 \text{ m}$
$h = 3,0 \text{ m}$

## Nádrž permeátu

Je navržena jako obdélníková otevřená nádrž. Bude do ní přiváděna přefiltrovaná voda z membránových modulů. Slouží jako zásobárna provozní vody na ČOV(použití k oplachu nádrží na ČOV-čerpací jímka, nádrž na chemické čištění, kontejner na shrabky aj.). Z nádrže bude permeát čerpán na objekt dočištění RO.

### Parametry nádrže: (příloha A.2.8. Nádrž permeátu)

Dimenzováno na průtok:	$Q_{dp}=50,51 \text{ m}^3/\text{hod}$
Doba zdržení:	2 hod
Rozměry (h x a x b):	3,0 x 5,0 x 6,7 m
Užitný objem:	$V = 102 \text{ m}^3$

## Dmychárna

Dmychána bude umístěna v provozní budově v samostatné oddělené místnosti s vlastním vstupem zvenku. Slouží pro uložení dmychadel, která vytváří vzduch pro provzdušňování aktivační nádrže jemnobublinnou aerací a pro provzdušňování uskladňovací nádrže a modulů středobublinnou aerací. Z komory jsou vedeny podzemní trubní rozvody vzduchu po celém areálu čistírny, k těmto objektům.

### Parametry dmychadel:

#### Parametry dmychadel: (Příloha A.2.11. Návrh dmychadel)

##### Aktivační nádrž, Uskladňovací nádrž

###### Celková potřeba vzduchu:

$$Q_c = 4632,29 \text{ m}^3/\text{hod}$$

###### Celkový přetlak:

$$\Delta p = 56,1 \text{ Kpa}$$

Navržená dmychadla: Dmychadla KUBÍČEK VHS - typ 3D80C - 300

Počet kusů: 1+1

##### Membránové moduly

###### Celková potřeba vzduchu:

$$Q_c = 600 \text{ m}^3/\text{hod}$$

###### Celkový přetlak:

$$D_p = 24,2 \text{ Kpa}$$

Navržení dmychadel: Dmychadla KUBÍČEK VHS - typ 3D38C - 100

Počet kusů: 1+1

## 6.4.5 PS 4 Kalové hospodářství

### Čerpací stanice vratného a přebytečného biologického kalu

Čerpací stanice je navržena jako betonová uzavřená komora s půdorysným rozměrem 3,0 x 2,50 m. Ve stanici jsou umístěna čerpadla vratného kalu a čerpadlo kalu přebytečného. Čerpadla vratného kalu zajišťují recirkulaci kalu mezi nádrží membrán a aktivační nádrží a

udržují tak koncentraci kalu v aktivaci na stálé hodnotě. Čerpadlo přebytečného kalu odtahuje kal ze systému v případě zvýšení jeho koncentrace nad požadovanou hodnotu.

Do čerpací stanice je odtahován kal z nádrže membrán. Velikost recirkulačního průtoku je řízena podle aktuálního průtoku odpadních vod, při zachování recirkulačního poměru 500 %. Vratný kal je přiváděn do aktivační nádrže nad úroveň hladiny. V aktivační nádrži je měřena koncentrace aktivovaného kalu. Návrhová hodnota koncentrace kalu je  $10 \text{ Kg/m}^3$  OV. Při překročení této koncentrace dochází k odtahu přebytečného kalu pomocí čerpadla přebytečného kalu, které je rovněž umístěné v čerpací stanici. Kal z aktivace je odtahován do zahušťovací nádrže, kde dochází k jeho zahuštění.

#### **Návrh čerpadel na čerpání vratného kalu: (Příloha A.2.13. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 1+1

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 252,55 \quad \text{m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 7 \quad \text{m}$$

#### **Navržená čerpadla:**

Výrobce: WILO -EMU

Typ: FA 15.52-230E + T 17.2-4/24HEx

#### **Parametry čerpadel přebytečného kalu: (Příloha A.2.13. Návrh čerpadel)**

Počet čerpadel: 1+1

Celkové čerpané množství:

$$Q_c = 0,7 \quad \text{m}^3/\text{hod}$$

Dopravní výška:

$$H = 5,8 \quad \text{m}$$

#### **Navržená čerpadla:**

Výrobce: WILO

Typ: TM 32/7

#### **Zahušťovací nádrž přebytečného kalu**

Do zahušťovací nádrže je čerpán přebytečný biologický kal z čerpací jímky přebytečného kalu potrubím DN150. Kal je přiváděn nad úroveň maximální hladiny v nádrži. Nádrž slouží k jeho oddělenému zahuštění na hodnotu 5 %. Přiváděný přebytečný kal má vstupní koncentraci  $1,0 \%$  ( $10 \text{ Kg/m}^3$ ).

Nádrž je navržena jako nadzemní otevřená betonová se čtvercovým půdorysem. Obsah nádrže je provzdušňován středněbublinnou aerací (aerátory FORTEX- Příloha A.2.13. Aerace). Aerátory jsou rozmístěny u dna nádrže, vzduch je přiváděn z dmychárny potrubím vzduchu. Nádrž je opatřena kašnovým přepadem DN300 a odběrným potrubím pro odtah zahuštěného kalu do uskladňovací nádrže. 0,5 m pod úrovní hladiny je umístěno potrubí pro odtah kalové vody. Kalová vody je čerpána čerpadlem kalové vody zpět na

vstup do aktivace. Kalová voda z bezpečnostního přepadu je odvedena do homogenizační nádrže. Nádrž je opatřena revizní lávkou š. 1 m a délkou 3m. Vstup dovnitř nádrže je pomocí ocelového žebříku upevněného na horním okraji k revizní lávce, na dolním okraji zabetonovaného do dna nádrže.

#### **Parametry nádrže: (Příloha A.2.9. Kalové hospodářství)**

Produkce přebytečného kalu:	$V_{kal} = 114,37 \text{ kg/den}$
Koncentrace přebytečného kalu:	$X = 10 \text{ Kg/m}^3$
Koncentrace kalu po zahuštění:	$X = 50 \text{ Kg/m}^3$
Celková doba zdržení:	$\Theta = 35 \text{ dní}$
Rozměry:	$a=b=4,0 \text{ m}, h=5,1 \text{ m}$
Objem nádrže:	$V = 81,6 \text{ m}^3$

#### **Kalová odstředivka**

Kalová odstředivka slouží k odvodnění kalu, který byl zahuštěn v uskladňovací nádrži. Odvodněním se sníží jeho objem, a získá konzistenci zeminy, díky čemuž se dá nakládat, a dále využívat k různým účelům. Odstředivka je navržena na objem kalu po zahuštění. (Příloha A.2.9. Kalové hospodářství)

Navržená odstředivka má stejné parametry jako odstředivka ve studii 1, dále tedy není uváděn její podrobnější popis (viz studie 1). Systém se bude lišit v množství čerpaného kalu a v dávkování polymerního flokulantu. Voda pro přípravu flokulantu ve stanici chemického hospodářství bude přiváděna z nádrže provozní vody (permeátu).

### **6.4.6 PS 5 Chemické hospodářství**

Množství použitých chemikálií se odvíjí od objemu regenerační nádrže. Nádrž bude napuštěna vždy roztokem dané chemikálie do výšky hladiny 2,2 m (celý modul ponořený).

Objem roztoku v nádrži:  $V_n = 37,18 \text{ m}^3$

#### **Kyselina citronová**

Chemikálie je dodána jako bílý prášek. Je skladována v pytlích na paletě. Pro vytvoření dávkovacího roztoku je navržena rozmíchávací nádrž  $V = 200 \text{ l}$ . Z rozmíchávací nádrže bude dávkovací roztok dávkovacím čerpadlem dodáván do regenerační nádrže. Dávkování začne v době čerpání ředící vody z nádrže permeátu. Při napouštění dojde k naředění na požadovanou koncentraci. Do vzniklého roztoku budou přemístěny membránové moduly k regeneraci. Po ukončení sycení je roztok kyseliny citronové odveden do neutralizační nádrže u vyrovnávací nádrže.

#### **Parametry: (příloha A.2.10. Chemické hospodářství)**

#### **NaClO**

Jedná se o zelenožlutou tekutinu, skladovanou v kontejnerech s ocelovým pláštěm a vnitřním povrchem z HDPE. Tekutina je přímo dávkována dávkovacím čerpadlem do regenerační nádrže po vypuštění roztoku kyseliny citronové. Společně s NaClO je dávkován také roztok NaOH (30 %). Dávkování začíná probíhat současně s počátkem

čerpání vody z nádrže permeátu do regenerační nádrže. Po ukončení regenerace je roztok vypuštěn do neutralizační nádrže.

**Parametry: (příloha A.2.10. Chemické hospodářství)**

### **NaOH (30%)**

Jedná se o viskózní čirou tekutinu bez zápachu, která je skladována v sudech z ocelového pozinkovaného plechu. Roztok je dávkován dávkovacím čerpadlem do regenerační nádrže společně s NaClO.

**Parametry: (příloha A.2.10. Chemické hospodářství)**

### **6.4.7 PS 6 Reversní osmóza**

Reversní osmóza v rámci studie nebyla navrhována. Stručný popis a zdůvodnění jsou uvedeny v kapitole 6.3.10. obsažené ve studii 1.

## 6.5 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ VARIANT

Následující text obsahuje jen stručné shrnutí. Podrobněji se ekonomickým aspektem návrhu zabývají Příloha A.3. Ekonomická část studie 1 a Příloha A.4. Ekonomická část studie 2.

### 6.5.1 Studie 1

Na základě Rozpočtových ukazatelů 2011 a ceny stanovené dodavateli technologií byly stanoveny orientační investiční náklady stavebních objektů a technologického vybavení. Jejich shrnutí bez započtení hodnot DPH je uvedeno v následující tabulce.

**Tab. 35 Celkové investiční náklady stavby (Příloha A.3. Ekonomická část studie 1)**

POLOŽKA	INVESTIČNÍ NÁKLADY (BEZ DPH) (Kč)	ODPISY (Kč)
STAVEBNÍ OBJEKTY ČOV	28 021 651	424 283
TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ ČOV	23 426 885	1 586 513
CELKEM	51 448 536	2 010 796

Provozní náklady jsou tvořeny náklady na elektrickou energii, použité chemikálie, LOX, odvoz a uložení kalů a rozbory vody. Dále do provozních nákladů spadají odpisy, osobní náklady a náklady na údržbu ČOV. Při výpočtu byly uvažovány pevné ceny roku 2011, bez zahrnutí inflace. Následující tabulka obsahuje celkové náklady na roční provoz navrhované ČOV s procentuálním vyjádřením jednotlivých položek

**Tab. 36 Celkové náklady na roční provoz (Příloha A.3. Ekonomická studie část 2)**

POLOŽKA	NÁKLADY (BEZ DPH) (Kč/rok)	NÁKLADY (BEZ DPH) (%)
ODPISY	2 010 796	23
ÚDRŽBA	823 393	9
OSOBNÍ NÁKLADY	600 000	7
PROVOZNÍ NÁKLADY	5 417 501	61
CELKEM	8 851 690	100

Pro danou studii byl proveden výpočet návratnosti investice (posouzení celkových nákladů projektu) při současné ceně za odběr vody 22 Kč (odběr 5 Kč + znečodnění 17 Kč). Výpočet je proveden pro 20 let. Vliv daní a inflace nebyl uvažován, pracuje se s pevnými cenami roku 2011. Diskontní sazba byla stanovena na 3%. Z výsledku je zřejmé, že při současných cenách, které podnik platí za 1 m<sup>3</sup> vody, by se investice v průběhu 20 let nevyplatila. (podrobněji příloha A.3.)

Dále byla pro zajímavost stanovena nejnižší nutná cena vody za jednotku, při které by byla diskontovaná doba návratnosti investice 10 let. Z výpočtu vyšla nejnižší nutná cena na hodnotu 63,82 Kč/m<sup>3</sup> vody. Posouzení celkových nákladů bylo provedeno pouze pro dobu 20 let (ne celková životnost stavby). Cílem bylo získat pouze modelovou cenu vody pro předem stanovenou dobu návratnosti, výpočet pro dobu životnosti tedy nemá význam. (Příloha A. 3.)



V příloze A.3. je v samostatné podkapitole uveden výpočet ročních nákladů na provoz systému ozonizace, zahrnující náklady na LOX, elektrickou energii, údržbu, pronájem zásobníku LOX a odpisy.

## 6.5.2 Studie 2

Na základě Rozpočtových ukazatelů 2011 a ceny stanovené dodavateli technologií byly stanoveny orientační investiční náklady stavebních objektů a technologického vybavení. Jejich shrnutí bez započtení hodnot DPH je uvedeno v následující tabulce.

**Tab. 37 Celkové investiční náklady stavby (Příloha A. 4. Ekonomická část studie 2)**

POLOŽKA	INVESTIČNÍ NÁKLADY (BEZ DPH) (Kč)	ODPISY (Kč)
STAVEBNÍ OBJEKTY ČOV	19 017 795	269 120
TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ ČOV	32 164 291	3 078 557
CELKEM	51 182 086	3 347 677

Stejně jako u studie 1 byl proveden výpočet ročních nákladů na provoz ČOV dle návrhu 2. Hodnoty jsou uvedeny bez započtení DPH. Výpočet je proveden v pevných cenách roku 2011 (bez vlivu inflace).

**Tab. 38 Celkové investiční náklady na roční provoz (Příloha A.4. Ekonomická část studie 2)**

POLOŽKA	NÁKLADY (BEZ DPH) (Kč/rok)	NÁKLADY (BEZ DPH) (%)
ODPISY	3 347 677	29
ÚDRŽBA	889 299	8
OSOBNÍ NÁKLADY	600 000	5
PROVOZNÍ NÁKLADY	6 659 975	58
CELKEM	11 496 951	100

Při výpočtu návratnosti investice opět vyplynulo, že pro současné ceny za jednotku vody by se investice v průběhu 20 let nevyplatila. Výpočet je proveden pro pevné ceny roku 2011 s diskontní sazbou 3% (bez započítání inflace a daní). Byla stanovena minimální nutná cena vody pro diskontovanou dobu návratnosti investice 10 let. Tato minimální cena má hodnotu 74,15 Kč/m<sup>3</sup>. (Příloha A.4.)

Výpočet ročních nákladů na provoz ozonizace ve studii 2 (kapacita generátoru 5 Kg O<sub>3</sub>/hod na rozdíl od 3 Kg O<sub>3</sub>/hod ve studii 1) je uveden v příloze A.4.

Pro současné ceny vody v ČR je znovu-užití odpadních vod z textilní výroby (procesu barvení) finančně nevýhodné z důvodu nákladnosti technologií.

## 6.6 POROVNÁNÍ VARIANT

Dvě navržené varianty pro čištění odpadních vod za účelem znovuvyužití je možné porovnat z hlediska technického řešení, nákladů a kvality výstupní vody.

### 6.6.1 Technické řešení

Z hlediska technického je první variantu možné označit za tradiční řešení (pokud se jedná o oblast znovuužití vod z barvení). Linka je tvořena dvěma částmi – čistírenskou linkou, která zahrnuje objekty od mechanického předčištění po dosazovací nádrž a dále linkou pro dočištění vod, která je tvořena objekty od dosazovací nádrže až po výstup z celého procesu. Čistírenská linka obsahuje v návrhu mechanické předčištění, vyrovnávání přítoků a znečištění, objekty chemického srážení (klasická metoda čištění OV z textilního barvení), a biologickou část (směšovací aktivace a s ní související objekty). Tato linka je sice klasickou a osvědčenou koncepcí, má však řadu nevýhod. Celý návrh je poměrně komplikovaný, zahrnuje řadu čistírenských objektů a technologií. Samotný soubor chemického srážení zahrnuje 3 nádrže vlastního srážení a poměrně široké chemické hospodářství, které sestává ze skladů, rozmíchávacích nádrží chemikálií a systémů pro jejich dávkování. S jeho návrhem však souvisí také značně zvýšená produkce kalu na čistírně ve formě chemického kalu ze srážení. Na čistírně vznikají dva druhy kalů o různých koncentracích. Přebytný biologický kal musí být před smísením s kalem chemickým zahuštěn na odpovídající hodnotu. K tomuto účelu je nutné navrhnout samostatnou zahušťovací nádrž. Chemický kal je odváděn přímo do zahušťovací nádrže směsného kalu, kde se k němu připojuje zahuštěný přebytný biologický kal. Velké objemy chemického kalu vedou k nutně velkému objemu zahušťovací nádrže směsného kalu. Chemické srážení a chemické hospodářství je tedy sice účinnou, ale z hlediska komplikovanosti návrhu a produkce velkého množství kalů nepohodlnou technologií. Její podstatnou nevýhodou při návrhu systému znovu – užití je vnos chemického znečištění do čištěné vody. Toto znečištění není na odtoku ze srážení stoprocentně odděleno a dostává se tak do dalších částí linky, kde může způsobovat problémy.

Ostatní části čistírenské linky je možné označit za tradiční a bezproblémové. Další nepříjemnosti nastávají při návrhu linky dočištění. Voda odsazená v dosazovací nádrži obsahuje poměrně vysoké hodnoty zbytkového znečištění - od jemných suspendovaných částic přes zbytkové zabarvení, chemické znečištění ze srážení (především zvýšené koncentrace železa) až po vysoké koncentrace rozpuštěných anorganických solí. Pro znovuvyužití je nutné všechna tato znečištění odstranit. RAS je možné odstranit z vody jen pomocí investičně a provozně náročných technologií. Pro návrh byla zvolena reversní osmóza. Ta má však vysoké požadavky na kvalitu vstupní vody a vyžaduje důkladné předčištění. Do linky dočištění je tedy nutné zařadit řadu technologií. Patří mezi ně písková filtrace pro odstranění jemných suspenzí, ozonizace pro odstranění zbytkových barviv, dále bude pravděpodobně nutné zařadit filtry k odželezování vody (RO má přísné nároky na vstupní koncentrace řady prvků). Tyto technologie byly nastíněny v rámci předkládané studie, dá se však předpokládat, že voda by před vstupem na RO vyžadovala i další stupně

předčištění. Z popisu je zřejmé, že dočištění za konvenční čistírenskou linkou je pestré z hlediska široké škály použitých technologií. Závěrečný stupeň – reversní osmóza – je technologie finančně nákladná a provozně náročná, bez její aplikace by však voda nezískala požadované parametry pro výrobu.

Druhá navrhovaná varianta je řešena netradičně. Vychází z návrhové koncepce projektu AOP4WATER. Jako klíčová technologie byla zvolena ozonizace. Z důvodu aktuálního průběhu projektu a dosavadního nezveřejnění nových výsledků však byl návrh proveden pro současné známé účinnosti technologie. Při těchto účinnostech není prozatím možné dosáhnout požadovaných parametrů vody pro její znovuvyužití v procesu barvení. Návrh byl tedy rozšířen o další nutné technologie. Celá linka se opět skládá z linky čistírenské a linky pro dočištění vod. Čistírenská linka je tvořena mechanickým předčištěním a homogenizací, jako je tomu u varianty 1. Tady zůstává návrh totožný. V dalších částech byly provedeny výrazné změny. Za homogenizaci je zařazena technologie ozonizace s vyšší kapacitou pro rozklad barviv obsažených v OV. Ozonizace na tomto místě nahrazuje srážení odpadních vod. Z provedených testování je zřejmé, že její účinnost v oblasti odstranění barviv je srovnatelná s chemickým srážením. Má však nižší účinnosti v odstranění ostatních parametrů (CHSK, BSK, NL aj.) Její největší předností je nulová produkce odpadu. Při ozonizaci nevznikají žádné vedlejší odpadní produkty, se kterými by bylo nutné dále nakládat a platit za jejich zneškodnění. Do vody navíc nejsou vnášeny další nežádoucí prvky, které by bylo v lince dočištění nutné složitě odstraňovat před vstupem na RO. I přes nižší účinnost ozonizace v odstranění některých znečištění je tato technologie pohodlnější variantou. Její nevýhodou jsou vysoké investiční i provozní náklady ve srovnání s chemickým srážením. Za technologii ozonizace je zařazeno biologické čištění. Z důvodu nutného důkladného předčištění před vstupem na RO byla zvolena technologie membránových bioreaktorů. V první studii nebylo možné membrány použít z důvodu vnosu řady chemických látek do OV (např. již zmíněné železo), které by negativně působily na funkci membrán. Ve variantě 2 je ale možné tuto technologii do linky zařadit a odstranit tak potíže s dalším dočištěním vody. Membránové bioreaktory přinášejí jako hlavní výhodu vysokou kvalitu odtoku a snížení prostorových nároků biologického stupně. Důvodem je návrh aktivace pro vysokou koncentraci kalu a s tím spojené snížení objemů nádrží. Vedlejším efektem této výhody je nárůst potřebného množství vzduchu pro aeraci (při vysoké koncentraci kalu klesá schopnost přestupu kyslíku do vody). Membránové bioreaktory zajišťují důkladné oddělení znečištění a poskytují tak vhodné předčištění jako předstupeň reversní osmózy. Je možné, že permeát bude nutné dále dočišťovat, v každém případě však nebude nutné zařadit k dočištění celou kaskádu dalších technologií. Podrobnější návrh by bylo možné provést až po uskutečnění testů na vzorcích vody.

Z hlediska technického řešení je sice varianta 1 osvědčeným řešením, varianta 2 je však pohodlnější alternativou. Její nevýhodou je vyšší náročnost provozu membránových bioreaktorů, výhodou je naopak menší množství potřebných technologií v celé lince. Technologie jako dosazovací nádrž, písková filtrace a odželezovací filtry jsou nahrazeny membránami.

## **6.6.2 Ekonomické porovnání**

Z ekonomického hlediska se obě varianty jeví jako velmi nevýhodné. Důvodem je nízká cena vody v našich podmínkách a nutnost zařazení finančně náročných technologií jak z hlediska investice, tak z hlediska provozu.

Obě varianty se vyrovnají ve výši investičních nákladů (kapitola 6.5 a přílohy A.3 a A.4). Varianta 1 má vyšší investiční náklady na stavební objekty. Varianta 2 má sice investiční náklady na stavební část znatelně nižší (téměř 50 %), zato investiční náklady na technologické vybavení rozdíl vyrovnávají (přibližně o 40 % vyšší než u varianty 1). Z hlediska celkových investičních nákladů jsou však obě varianty srovnatelné.

Provozní náklady už obě varianty odlišují (kapitola 6.5 a přílohy A.3 a A.4). U obou variant jsou pro danou kapacitu čistírny nadměrné z důvodu nutnosti zařazení nákladných technologií. Provozní náklady na 1 rok provozu pro variantu 2 jsou o 30 % vyšší než u první varianty. Důvodem jsou vysoké odpisy technologického vybavení s nižší životností a vysoké náklady na provoz jednotlivých technologií, obzvlášť membránových modulů (vysoké energetické nároky a údržba). Pokud by nastala situace, kdy by cena vody stoupla (nebo byly výrazně navýšeny poplatky za vypouštění odpadních vod), byla by finančně přístupnější varianta 1. Varianty nejsou porovnány z hlediska posouzení celkových nákladů projektu (NPV), protože jsou obě vyhodnoceny jako nevýhodné investice.

## **6.6.3 Porovnání kvality výstupní vody**

Kvalita vody pro použití v procesu barvení je jasně stanovena, obě navrhované varianty by musely být navrženy tak, aby parametry splňovaly, na základě použitých technologií se dá předpokládat srovnatelná kvalita výstupní vody.

## **6.6.4 Celkové posouzení**

Z technického hlediska by lépe vyhovovala varianta 2. Tato varianta však v současnosti zůstává nadále velmi nákladnou po stránce investiční i provozní. Z důvodu stejné předpokládané výstupní kvality vody by tedy z ekonomických důvodů lépe vyhověla varianta 1.

## 7. ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámení s problematikou znovu-užití čištěných odpadních vod z textilního průmyslu opět v procesu výroby a to při využití moderních čistírenských postupů nazývaných pokrokové oxidační technologie. První kapitoly textu popisují teorii znovuvyužití vod a pokrokových oxidačních procesů. Rešeršní část zahrnuje v kapitole 3 vysvětlení pojmu AOP, popis jejich funkce a jednotlivých prvků systému. Větší pozornost byla věnována technologii ozonizace, jako příprava pro praktickou část, kde je tato technologie podrobněji zkoumána a následně zařazena do návrhu čistírenské linky. I když prvotním záměrem práce bylo soustředění se na pokrokové oxidační procesy (AOP), v průběhu řešení se ukázalo být nezbytným seznámení se základními procesy textilního průmyslu a znečištěním, které tyto procesy produkují. Nejdůležitější potom bylo získání poznatků o možnostech a technologiích využívaných v současnosti pro čištění textilních odpadních vod. Všechny tyto poznatky jsou shrnuty v kapitole 4 společně s rešerší dosavadních zkušeností a poznatků o využití AOP technologií při čištění OV z textilního barvení. Těmito poznatky je rešeršní část uzavřena. Následují dvě praktické kapitoly.

Kapitola 5 popisuje testování účinnosti ozonizace na odbarvení reálné textilní odpadní vody. V této kapitole je v úvodu představen textilní podnik, pro který je v kapitole 6 proveden návrh. Popis podniku je v některých pasážích velmi strohý z důvodu ochrany informací a z důvodu chybějících informací o vodním hospodářství podniku. Samotné výsledky testování odbarvení nejsou plnohodnotně vyhodnoceny, slouží pouze jako vstupy pro návrh ozonizace v čistírenské lince – kapitola 6. Při testování byla potvrzena účinnost ozonizace pro odbarvení a byly zjištěny potřebné dávky ozonu pro konkrétní situaci. Současně výsledky ukázaly, že ozonizace jako samostatná technologie poskytuje vysokou účinnost při odstranění zabarvení, její účinnost je ale nízká v oblasti odstranění jiných složek znečištění. Získané poznatky z rešeršní části a z výsledků testování byly v závěrečné a stěžejní části práce využity pro návrh znovu-užití čištěných vod z procesu barvení opět ve výrobě.

Ve fázi zadání diplomové práce bylo předpokládáno, že praktická část bude provedena pouze formou návrhu systému ozonizace pro dočištění odpadních vod. V průběhu řešení a shromažďování poznatků se však ukázalo, že pouze vřazení technologie ozonizace za konvenční čistírenskou linku by nevedlo k dosažení požadovaných parametrů vody pro znovu-užití. Zjištěním bylo, že pro kvalitní čištění a dočištění za účelem znovu-užití je nevyhnutelné použít linku sestavenou z celé řady finančně a provozně náročných technologií. Tyto poznatky vedly k rozhodnutí provést praktickou část jako návrh a porovnání dvou odlišných linek. Návrh byl proveden formou studie, která předkládá 2 varianty možného řešení. První varianta představuje víceméně klasickou koncepci čistírenské linky pro čištění textilních OV a na ni navazující technologie nutného dočištění. Linka sestává z mechanického předčištění, homogenizace odpadních vod, chemického srážení, biologického čištění a rozsáhlého stupně dočištění. Varianta je i přes svou ověřenost a zkušenosti v některých oblastech návrhu komplikovaná a nepohodlná a přináší

s sebou řadu nevýhod. Jsou to především široká škála nezbytných objektů a technologií, vnos druhotného znečištění do vody a produkce velkých objemů odpadů (ve formě čistírenských kalů z procesu srážení). Do linky dočištění bylo nutné pro dosažení požadované kvality na výstupu zařadit jako finální bod technologii reverzní osmózy a s ní spojené technologie předčištění (písková filtrace, ozonizace zařazené jako stupeň dočištění vod, odželezovací filtry). Celkově je tedy linka velmi pestrá a technologicky náročná.

Druhá varianta studie byla navržena podle představ právě probíhajícího projektu AOP4 water. Jako klíčová technologie byla zvolena ozonizace, která nahrazuje v lince proces chemického srážení a slouží tedy netradičně jako hlavní stupeň čištění umístěný přímo za mechanickým předčištěním a homogenizací odpadních vod. Z důvodu aktuálního průběhu projektu a dosavadního nezveřejnění nových výsledků však byl návrh proveden pro současně známé účinnosti technologie. Při těchto účinnostech není prozatím možné dosáhnout požadovaných parametrů vody pro její znovuvyužití v procesu barvení. Návrh byl tedy rozšířen o další nutné technologie. Jedná se o použití membránových bioreaktorů v biologické části linky a dočištění systémem RO. Možnost použít MBR se ve druhé variantě zpřístupňuje díky nulovému vnosu nežádoucích prvků do čištěné vody (na rozdíl od varianty 1). Dá se předpokládat, že MBR povedou k vhodné předúpravě vody pro vstup na reverzní osmózu a značně tak usnadní návrh linky dočištění. Technologie reverzní osmózy nebyla v rámci studie navržena, jedná se o velmi komplikovanou technologii vyžadující odborný návrh.

Z hlediska technického řešení se jako elegantnější jeví varianta 2, především z důvodu čistšího provozu bez vnosu nežádoucích látek do OV, bez produkce velkých objemů kalů a také z důvodu jednoduššího konceptu čistírenské linky bez nutnosti zařadit širokou škálu čistírenských technologií pro dočištění vod. Její nevýhodou je však náročný provoz (membránové moduly), vysoké investiční a provozní náklady. Požadovaná kvalita vody pro proces barvení je jasně dána a ani varianta 2 tyto přísné limity nesplní bez zařazení náročné technologie – RO. Tyto parametry však po návrhu musí splňovat i varianta 1, hlavním kritériem tedy zůstává cena projektu. Ta v současné době jednoznačně mluví v neprospěch varianty 2.

Hlavním přínosem práce je podání přehledu čistírenských technologií používaných pro čištění odpadních vod z textilní výroby. Dalším přínosem je provedení návrhu technologické linky čištění se zařazením AOP technologie (ozonizace) do hlavní linky (na přítok odpadních vod) a jeho porovnání s konvenčními používanými metodami (technologie srážení a umítní AOP technologie pouze jako stupeň dočištění). Studie potvrzuje, že AOP technologie jsou účinné a elegantní metody, stále jsou však v současné době limitovány vysokými náklady. Jejich další optimalizace a výzkum za účelem snížení nákladů a zvýšení účinnosti je však na místě. Cílem projektu AOP4WATER, na který práce navazuje, je vývoj takových kombinací AOP a zefektivnění biologického stupně, které by vedly ke snížení provozních nákladů a dokázaly by dosáhnout přísných požadavků textilní výroby i bez použití následného dočištění za biologii. Přínosem úspěšného řešení

by byl návrh technologií bez produkce vedlejších znečištění a podpora společnosti v šetrnější zacházení s vodou formou znovu-užití.

Definitivním závěrem však zůstává, že pro podmínky ČR je aplikace znovu-užití vod v textilním průmyslu (proces barvení) při současných cenách vody značně nevýhodná a v naší zemi se nevyužívá. Jedinou možnou motivací by bylo zvýšení poplatků za vypouštění zbytkového znečištění z textilní výroby. Čištění textilních odpadních vod za účelem znovuvyužití je v současnosti využíváno v oblastech s nedostatečným množstvím nebo nevyhovující kvalitou vody. V těchto zemích má voda vysokou hodnotu a recyklace je ekonomicky výhodná. Vývoj nových účinných technologií pro čištění rezistentních látek má tedy perspektivu převážně v těchto oblastech. Pokud se do budoucna nezmění přístup k nakládání s vodou, je možné očekávat rozšíření těchto problémů i do našich podmínek.

## 8. POUŽITÁ LITERATURA

AB klimatizace. Vlastnosti vody a její vliv na provoz parních elektrických zvlhčovačů. 1997. ABK 4.8 s.

Acar, E.; Ozbelge, T. Oxidation of Acid Red-151 Aqueous Solutions by the Peroxone Process and its Kinetic Evaluation. *Ozone: Science and Engineering*. 2006. 28( 3), s. 155-164.

Al-kdasi A., Iris A., Saed K., Guan C.T., Treatment of Textile Wastewater by Advanced Oxidation Processes- A Review. *Global Nest: the Int. J.*. 2004. vol. 6, No. 3. s. 222-230.

Allegre, C., Mouline, P., Maisseu, M., Charbit, F. Treatment and reuse of reactive dyeing effluents. *J. Memb. Science*. 269 (2006), 15-17.

AquaFit4use. Water quality demands in paper, chemical, food and textile companies. 2010. 125 s.

Arslan I., Akmehtmet Balcioglu I.& Tuhkanen T. Advanced Oxidation of Synthetic Dyehouse Effluent by O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV Processes. *Environmental Technology*. 1999. 20(9). S.921 – 931.

Azbar N., Yonar T., Kestioglu K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. *Chemosphere*. 2004. 55 (1), s. 35-43.

Baban A., Yediler A., Lienert D., Kemerdere N., Kettrup A. Ozonation of high strength segregated effluents from a woollen textile dyeing and finishing plant. *Dyes and Pigments*,. 2003. 58 (2), s. 93-98.

Bali U., Catalkaya E., Sengul F. Photodegradation of reactive black 5, direct red 28 and direct yellow 12 using UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>: A comparative study. *Journal of Hazardous Materials*. 2004. 114 (1-3), s. 159-166.

Barclay S. a Buckley Ch. Waste Minimisation Guide for the Textile Industry: A Step Towards Cleaner Production. South Africa. 2000. 92 s.

Bender N. The impact of water scarcity and pollution on the textile industry. A case study from Turkey. 2004. 10s.

Beneš J. DISA v.o.s. Nabídka systému ozonizace odpadní vody. 2011. 14 s.

Beneš J. Využití ozonizace a AOP pro čištění odpadních vod - prezentace. 2011. 67 s.

Beneš J., Hořava P. Ozonizace vody – výhody současných technických řešení in *Voda Zlín. Sborník přednášek*. 2010. s. 85- 90.

Bes-Pia A., Mendoza-Roca J.A., Roig-Alcover L., Iborra-Clar A., Iborra-Clar M.I., Alcaina-Miranda M.I. Comparison between nanofiltration and ozonation of biologically treated textile wastewater for its reuse in the industry. *Desalination*. 2003. 157 (1-3), s. 81-86.



- Ciardelli G., Ranieri N. The treatment and reuse of wastewater in the textile industry by means of ozonation and electroflocculation. *Water Research*. 2001. 35 (2), s. 567-572.
- Colindres P., Yee-Madeira H., Reguera E. Removal of Reactive Black 5 from aqueous solution by ozone for water reuse in textile dyeing processes. *Desalination*. 2010. 258 (1-3), s. 154-158.
- Couch B. The Ozone/UV Combination. *Water Quality Products*. 2007. 12(2).
- Česká geologická služba, mapový server [online]. [cit. 2011-11-02]. URL: <http://www.geology.cz/>
- Das S. Textile effluent treatment – A solution to the enviromental polution. Rok neznámý. 8 s.
- DISA v.o.s. Technologie ozonizace [online]. [cit. 2011-11-26]. URL: <http://www.disa.cz>. Dostupné online: <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/textile-industry-articles/textile-effluent-treatment/textile-effluent-treatment1.asp>.
- Dušek L., Potenciál procesů AOP při čištění průmyslových odpadních vod. in Odpadové fórum 2009, Praha : PCHE - PetroCHemEng, 2009, ISBN 978-80-02-02108-7, s. 3577-3582.
- E-L TEX. Voda při zušlechťování textilií [online]. [cit. 2011-11-06]. URL: <http://www.skolatextilu.cz/zus/index.php?page=1>
- Engineering. 1987. 9. s. 335-352.
- Eswaramoorthi S., Dhanapal K.and Chauhan D.S. Advances in Textile Waste Water Treatment: The Case for UV-Ozonationand Membrane Bioreactor for Common Effluent Treatment Plantsin Tirupur, Tamil Nadu, India. Rok neznámý.17 s. Dostupné online: <http://www.scribd.com/doc/2608600/Advances-in-Textile-Wastewater-Treatment>
- EWA. Efficient use of water in the textile finishing industry, E-Water, Official Publication of the European Water Association (EWA). 2005. s. 1-18.
- Ghodbane H. a Hamdaoui O. Decolorization of antraquinonic dye, C.I. Acid Blue 25, in aqueous solution by direct UV irradiation, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/Fe(II) processes. *Chemical Engineering Journal*. 2010. 160(1). S. 226 – 231.
- Glaze W.H., Kang J.W., and Chapin D.H. The Chemistry of Water Treatment Processes
- Gottschalk Ch., Libra J. A., Saupe A. Ozonation of Water and Waste Water: A Practical Guide to Understanding Ozone and Its Applications. Second edition. John Wiley & Sons. 2010. 378 s. ISBN 9783527319626.
- Hai F.I., Yamamoto K. a Fukushi K. Hybrid treatment systéme for dye wastewater. *Crit. Reviews. Env. Science. Tech*. 2007. 37. s. 315 – 377.
- Halma PR Services. Janovka news [online]. [cit. 2011-11-25]. URL: <http://halmapr.com/news/hanovia/>

He Z., Lin L., Song S., Xia M., Xu L., Ying H., Chen J. Mineralization of C.I. Reactive Blue 19 by ozonation combined with sonolysis: Performance optimization and degradation mechanism. *Separation and Purification Technology*. 2008. 62 (2), s. 376-381.

Hoigné J. and H. Bader. The Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes in Aqueous Solutions. . *Water Res.* 1977. 10. s. 377-386.

Hua I. and Hoffmann M. R., Optimization of Ultrasonic Irradiation as an Advanced Oxidation

Chavan, R.B. Environment-friendly dyeing processes for cotton. *Ind. J. Fibre Textile Res.* 2001. 4. s. 239-242.

IMM report. Insights from the comprehensive assessment of water management in agriculture. 2006. s 8.

Inotex spol. s r.o. OBOROVÝ MANUÁL PREVENCE A MINIMALIZACE ODPADŮ VÝROBA TEXTILÍ. Dvůr Králové nad Labem. Rok vydání neznámý. 181 s.

Kalra S. S., Mohan S., Sinha A. and Singh G. Advanced Oxidation Processes for Treatment of Textile and Dye Wastewater: A Review. 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Development. 2011. s. 271 – 275. ISBN-13: 978-981-08-8716-2.

Kazemi M., Mohammadzadeh J. S., Khoshfetrat A. B., Kaynejad M. A. Decolorization of RR-120 Dye Using Ozone and Ozone/UV in a Semi-Batch Reaktor. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2004. 82(6). S. 1284 – 1288.

Kennedy M. Electrochemical Wastewater Treatment Technology For Textiles. *American Dyestuff Reporter*. September 1991. s. 26- 27.

Kommineni S., Zoeckler J., Stocking A., Liang S., Flores A., Kavanaugh M. Advanced oxidation processes. In *Treatment Technologies for Removal of Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) from Drinking Water*. Second edition. Center for Groundwater Restoration and Protection

Kopáček J. Technologie úpravy pitné a provozní vody. Rok neznámý. 20 s. Dostupné online: [http://keh.bf.jcu.cz/files/prednasky/Technologie\\_ZP/uprava\\_vod.pdf](http://keh.bf.jcu.cz/files/prednasky/Technologie_ZP/uprava_vod.pdf)

Kubota. Sumberge membrane unit [online]. [cit. 2010-05-26]. URL: <http://www.kubota-mbr.com>.

Kurbus T., Le Marechal A.M., Voncina D.B. Comparison of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> processes for the decolorisation of vinylsulphone reactive dyes. *Dyes and Pigments*. 2003. 58 (3), pp. 245-252.

Lenntech. Water treatment solutions [online]. [cit. 2011-11-02]. URL: <http://www.lenntech.com>

Linde Gas [online]. C2011. [cit. 2011-09-18]. URL: <http://www.linde-gas.cz>.

- Mahamuni N. N, Adewuyi Y. G. Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment: A review with emphasis on cost estimation. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2010. 17( 6). S. 990-1003.
- Malý J., Malá J. *Chemie a technologie vody*. 2. vydání. ARDEC s.r.o. 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- Marmagne O., Coste C. Color removal From textile plant effluents. *American dyestuff reporter*. 1996. Apríl. S. 15 – 21.
- Montforts Fongs. Products [online]. [cit. 2011-11-02]. URL: <http://www.fongs.com/FNA>
- Munter R. ADVANCED OXIDATION PROCESSES – CURRENT STATUS AND PROSPECTS. *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 2001, 50( 2), s. 59–80.
- Munter R. ADVANCED OXIDATION PROCESSES – CURRENT STATUS AND PROSPECTS. *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 2001, 50 (2). S. 59–80.
- Muthukumar M., Sargunamani D., Selvakumar N., Venkata Rao J. Optimisation of ozone treatment for colour and COD removal of acid dye effluent using central composite design experiment. *Dyes and Pigments*. 2004. 63 (2), s. 127-134.
- Nařízení vlády 23/2011 kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.
- National Water Research Institute. 2010. Kalifornia. s. 109 – 208.
- Neumet F.S. a Hasan Z.S. Ozone treatment of textile effluents and dyes: effect of applied ozone dose, pH and dye concentration. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2002. 77, s. 842-850.
- Oguz E., Keskinler B. Comparison among  $O_3$ , PAC adsorption,  $O_3 / HCO_3^-$ ,  $O_3/H_2O_2$  and  $O_3/PAC$  processes for the removal of Bomaplex Red CR-L dye from aqueous solution. *Dyes and Pigments*. 2007. 74 (2), S. 329-334.
- Parsons S. A. *Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment*. 1st edition. IWA Publishing. 2004. 372 s. ISBN-10: 1843390175
- Perkowski J. a Kos L. Decolouration of Model Dyehouse Wastewater with Advanced Oxidation Processes. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2003a. 11 (3). S. 67 – 71.
- Peroxid vodíku [online]. 2011. [cit. 2011-11-02]. URL: <http://www.cojeco.cz>
- S.M. Henry a R.C. Bennett. Ozone-peroxide advanced oxidation water treatment systém for treatment of chlorinated solvents and 1,4 – dioxine in Inovative strategie for remediation of chlorinated solvents and dnaps in the subsurface symposium. *Americal chemical society*. San Diego. 2001. S. 1064-1074.
- Salama A. *Ozone Oxidation Capabilities*. OZOMAX LTD. 2000. 6 s.

- Savin I., Butnaru R. Wastewater characteristics in textile finishing mills. *Environ Eng Manager*. 2008. 7. s. 859–64.
- Selcuk H. Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. *Dyes and Pigments*,. 2005.64 (3), s. 217-222.
- Sengupta B. Advanced methods for treatment of textile industry effluent. *Ressource recycling series*. 2007. 56 s.
- Shu H.-Y., Chang M.-C. Decolorization effects of six azo dyes by O<sub>3</sub>, UV/O<sub>3</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Dyes and Pigments*. 2005. 65 (1), s. 25-31.
- Soares O.S.G.P., Orfao J.J.M., Portela D., Vieira A., Pereira M.F.R. Ozonation of textile effluents and dye solutions under continuous operation: Influence of operating parameters. *Journal of Hazardous Materials*. 2006, 137 (3), s. 1664-1673.
- Society of dyers and colourist [online]. [cit. 2011-11-02]. URL: <http://www.sdc.org.uk/>
- Solvay chemicals, Inc.. Hydrogen Peroxide Safety and Handling Technical Data Sheet. 2006. 15 s. Dostupné online: < [www.solvaychemicals.us](http://www.solvaychemicals.us)>
- Spartan enviromental technologies. Advanced oxidation processes [online]. [cit. 2011-10-14]. URL: <http://www.spartanwatertreatment.com>
- Speth F. T., Swanson G. Demonstration of the HiPOx AdvancedOxidation Technology for the Treatment ofMTBE-Contaminated Groundwater. Final report. US EPA. 2002. 33 s.
- Staehelin J., Hoigne J. Decomposition of ozone in water: rate of initiation by hydroxide ions and hydrogen peroxide. *Environ. Sci. Technol.*, 1982, 16 (10), s. 676–681.
- Szpyrkowicz L., Juzzolino C., Kaul S.N. A comparative study on oxidation of disperse dyes by electrochemical process, ozone, hypochlorite and fenton reagent. *Water Research*. 2001. 35 (9), s. 2129-2136.
- Technology, Environmental Science and Technology, v. 31, p. 2237-2243, 1997.
- Tekoglu O., Özdemir C. Wastewater of Textile Industry and Its Treatment Processes. *Balwois*. 2010. 11 s.
- Textile exchange. [online]. [cit. 2011-10-14]. URL: <http://www.teonline.com/knowledgecentre/dyeing.html>
- Tezcanli-Guyer G., Ince N.H. Individual and combined effects of ultrasound, ozone and UV irradiation: A case study with textile dyes. *Ultrasonics*. 2004. 42 (1-9), s. 603-609.
- Tezcanli-Guyer G., Ince N.H. Individual and combined effects of ultrasound, ozone and UV irradiation: A case study with textile dyes. *Ultrasonics*. 2004. 42 (1-9), s. 603-609.
- Turhan K., Turgut Z. Decolorization of direct dye in textile wastewater by ozonization in a semi-batch bubble column reaktor. *Desalination*. 2009. 242 (1-3), s. 256-263.

U.S. FILTER/ZIMPRO, INC. Ultraviolet radiation and oxidation [online]. [cit. 2011-10-14]. URL: <http://clu-in.org/products/site/complete/democomp/usfilzim.htm>

Ultrasound for regional anesthesia [online]. [cit. 2011-10-14]. URL: <http://www.usra.ca>

Ultraviolet science. Ultraviolet light – technology summary [online]. [cit. 2011-11-26]. URL: <http://www.uvsciences.com>

United nations environment programme Industry and environment (UNEP IE). The textile industry and environment. Paříž. 1. vydání. 1994. 112 s.

URL: [http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C5%99ezn%C3%A1\\_%28%C5%99eka%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C5%99ezn%C3%A1_%28%C5%99eka%29)

US EPA. Advanced Photochemical Oxidation Processes [online]. 1998. 97 s. Dostupné z WWW: <http://www.epa.gov/nscep/index.html>.

US EPA. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. 1999. 346 S.

US EPA. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. United States Environmental Protection Agency. 1999. 346 s.

US EPA. EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the textile industry. Washington. 1997 b. 149 s.

US EPA. Guidelines for Water Reuse. Washington. 2004. 478 s.

US EPA. Matrix Photocatalytic, Inc. Photocatalytic Oxidation Technology, Innovative Technology Evaluation Report [online]. 1997 a. 72 s. Dostupné z WWW: <http://www.epa.gov/nscep/index.html>

US EPA. Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry. Office of research and development [online]. Ohio. 1996. 300 s.

Vajnhandl S., Le Marechal A.M. Case study of the sonochemical decolouration of textile azo dye Reactive Black 5. Journal of Hazardous Materials. 2007. 141 (1), s. 329-335.

Visvananhan C., Asano T. The potential for industrial wastewater reuse. Wastewater recycle, reuse and reclamation. 1. 2002. 14 s.

Wang C., Yediler A., Lienert D., Wang Z., Kettrup A. Ozonation of an azo dye C.I. Remazol Black 5 and toxicological assessment of its oxidation products. Chemosphere. 2003. 52 (7), s. 1225-1232.

Wikipedie - Březná [online]. [cit. 2011-11-02].

Wikipedie - Ozon [online]. Editováno 29.10.2011. [cit. 2011-11-02]. URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ozon>

Wikipedia – Ultrasound [online]. Editováno 29.10.2011. [cit. 2011-11-02]. URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrasound>.

World bank group. Pollution Prevention and Abatement Handbook. 1998. 5 s.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1	OBLASTI FYZICKÉHO A HOSPODÁŘSKÉHO NEDOSTATKU VODY .....	12
OBR. 2	STAVBA MOLEKULY OZONU .....	18
OBR. 3	SCHÉMA SYSTÉMU OZONIZACE .....	19
OBR. 4	SEPARACE KYSLÍKU ZE VZDUCHU .....	20
OBR. 5	ZÁSOBNÍK KAPALNÉHO KYSLÍKU .....	20
OBR. 6	POROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ .....	21
OBR. 7	NÁKLADY NA VÝROBU 1 KG OZONU .....	21
OBR. 8	PARALELNÍ KONFIGURACE GENERÁTORU.....	22
OBR. 9	PRINCIP FUNKCE STATIFLO.....	23
OBR. 10	GENERÁTOR OZONU PDO/PDA.....	24
OBR. 11	DESTRUKTOR.....	24
OBR. 12	UV SPEKTRUM.....	25
OBR. 13	UV REAKTOR.....	27
OBR. 14	FREKVENČNÍ ROZSAHY ULTRAZVUKU .....	28
OBR. 15	PRŮBĚH AKUSTICKÉ VLNY .....	28
OBR. 16	SYSTÉM HiPOX REAKČNÍ ZÓNY.....	32
OBR. 17	REAKTOR SYSTÉMU HiPOX .....	32
OBR. 18	KLASICKÝ SYSTÉM MÍCHANÉ NÁDŽE .....	33
OBR. 19	SYSTÉM ULTROX .....	35
OBR. 20	SCHÉMA VÝROBNÍCH PROCESŮ V TEXTILNÍM PRŮMYSLU .....	37
OBR. 21	SCHÉMA PROCESŮ VÝROBY PŘÍZÍ .....	38
OBR. 22	SCHÉMA PROCESŮ PŘEDÚPRAVY VLÁKEN.....	39
OBR. 23	KONTINUÁLNÍ BARVICÍ STROJ.....	41
OBR. 24	DISKONTINUÁLNÍ APARÁT .....	41
OBR. 25	SCHÉMA ROZDĚLENÍ PROCESŮ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD Z TP .....	52
OBR. 26	KOMBINACE TECHNOLOGIÍ PRO ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD Z TEXTILNÍHO PRŮMYSLU .....	53
OBR. 27	SYSTÉM RO.....	56
OBR. 28	MEMBRANOVÝ MODUL .....	56
OBR. 29	MULTIEFECTNÍ EVAPORÁTOR .....	58
OBR. 30	SCHÉMA ČISTÍCÍ LINKY PRO ZNOVUVYUŽITÍ VODY A SOLÍ .....	60
OBR. 31	ODBARVENÍ A ZMĚNY PH PŘI OZONIZACI. ....	62
OBR. 32	POLOHA OBLASTI.....	69
OBR. 33	SCHÉMA SYSTÉMU ZÁSOBNÍ VODOU PRO PROCESNÍ ÚČELY.....	71
OBR. 34	ČERPADLA SUROVÉ VODY .....	72
OBR. 35	PÍSKOVÉ FILTRY .....	72
OBR. 36	REKUPERAČNÍ NÁDOBA .....	72
OBR. 37	SCHÉMA NAKLÁDÁNÍ S VODOU – DIVIZE PLETENINY .....	73
OBR. 38	BARVICÍ STROJE DIVIZE PLETENINY .....	74
OBR. 39	SUROVÉ PLETENINY .....	74
OBR. 40	ŠITÍ RUKÁVCŮ .....	74
OBR. 41	OBARVENÁ TEXTILIE .....	75
OBR. 42	PŘÍTOK OV Z PODNIKU – MÍSTO ODBĚRU .....	78
OBR. 43	SCHÉMA PRVKŮ SYSTÉMU OZONIZACE .....	79
OBR. 44	OZONIZAČNÍ JEDNOTKA SWO 100 .....	80
OBR. 45	POHLED NA GENERÁTOR OZONU A ROZVODY .....	80
OBR. 46	KYSLÍKOVÝ SVAZEK LINDE .....	80
OBR. 47	ČERPADLO LOWARA .....	80
OBR. 48	STATICKÝ MÍŠIČ STATIFLO.....	81
OBR. 49	REAKČNÍ NÁDOBA .....	81
OBR. 50	UMÍSTĚNÍ SYSTÉMU OZONIZACE NA PŘÍTOKU OV .....	81
OBR. 51	VIZUÁLNÍ POSOUZENÍ PRŮBĚHU ODBARVENÍ – TESTOVÁNÍ 1 .....	84
OBR. 52	VIZUÁLNÍ POSOUZENÍ PRŮBĚHU ODBARVENÍ – TESTOVÁNÍ 2 .....	85
OBR. 53	VIZUÁLNÍ POSOUZENÍ PRŮBĚHU ODBARVENÍ – TESTOVÁNÍ 3 .....	86
OBR. 54	VIZUÁLNÍ POSOUZENÍ PRŮBĚHU ODBARVENÍ – TESTOVÁNÍ 4 .....	87
OBR. 55	VIZUÁLNÍ POSOUZENÍ PRŮBĚHU ODBARVENÍ – TESTOVÁNÍ 5 .....	88
OBR. 57	PRŮBĚH HODNOTY PH (PRŮMĚR).....	90
OBR. 58	PRŮBĚH ODSTRANĚNÍ CHSK <sub>CR</sub> .....	90
OBR. 59	PRŮMĚRNÉ ODBARVENÍ VZORKŮ .....	90

## SEZNAM TABULEK

TAB. 1 PŘEHLED OXIDAČNÍCH ČINIDEL POUŽÍVANÝCH PRO ÚPRAVU VODY A JEJICH STANDARDNÍCH OXIDAČNĚ – REDUKČNÍCH POTENCIÁLŮ( $E^0$ ) PŘI TEPLOTĚ 25°C.....	15
TAB. 2 PŘEHLED AOP TECHNOLOGIÍ PODLE PODSTATY PROCESU.....	16
TAB. 3 DĚLENÍ PROCESŮ ZALOŽENÝCH NA OZONIZACI .....	17
TAB. 4 POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ PŘÍPRAVY OZONU Z KYSLÍKU .....	21
TAB. 5 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ GENERACE OZONU ZE VZDUCHU A Z KYSLÍKU .....	21
TAB. 6 VÝKONY GENERÁTORU S FREKVENCÍ 600 HZ.....	23
TAB. 7 CHARAKTERISTIKY ZDROJŮ UV ZÁŘENÍ.....	27
TAB. 8 TYPICKÉ HODNOTY ZNEČIŠTĚNÍ TEXTILNÍ ODPADNÍ VODY .....	43
TAB. 9 CHARAKTERISTIKA TEXTILNÍCH ODPADNÍCH VOD DLE MATERIÁLU .....	43
TAB. 10 DĚLENÍ TEXTILNÍCH ODPADNÍCH VOD DLE ZNEČIŠTĚNÍ.....	44
TAB. 11 PŘÍSADY POUŽÍVANÉ PŘI BĚLENÍ .....	45
TAB. 12 ROZDĚLENÍ BARVIV DLE CHEMICKÉ SKUPINY A ZPŮSOBU APLIKACE .....	46
TAB. 13 CHARAKTERISTIKY BARVIV POUŽÍVANÝCH V TEXTILNÍM PRŮMYSLU .....	47
TAB. 14 SPOTŘEBA VODY PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY A PROCESY VÝROBY .....	49
TAB. 15 NEŽÁDOUCÍ VLIV TVRDOSTI VODY NA JEDNOTLIVÉ PROCESY.....	50
TAB. 16 PARAMETRY VODY POUŽITELNÉ PRO PROCES BARVENÍ.....	51
TAB. 17 PARAMETRY VODY POUŽITELNÉ V PROCESU FINÁLNÍCH ÚPRAV .....	51
TAB. 18 PŘÍPUSTNÉ HODNOTY ZNEČIŠTĚNÍ ČIŠTĚNÝCH VOD Z TP VYPOUŠTĚNÝCH DO VOD .....	51
TAB. 19 PARAMETRY TOKU BŘEZNÁ .....	70
TAB. 20 HODNOTY TVRDOSTI A pH ŘÍČNÍ VODY .....	70
TAB. 21 BARVIVA POUŽÍVANÁ V PODNIKU .....	76
TAB. 22 TESTOVÁNÍ 1- NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	84
TAB. 23 TESTOVÁNÍ 2 – NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	85
TAB. 24 TESTOVÁNÍ 3 – NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	86
TAB. 25 TESTOVÁNÍ 4 – NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	87
TAB. 26 TESTOVÁNÍ 5 – NAMĚŘENÉ HODNOTY .....	88
TAB. 27 PRŮMĚRNÉ HODNOTY ÚČINNOSTI OZONIZACE PŘI ODSTRANĚNÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ.....	89
TAB. 28 N-LETÉ PRŮTOKY ŘEKY BŘEZNÁ V ( $m^3/s$ ) (HLÁSNÝ PROFIL HOŠTĚJN).....	92
TAB. 29 PRŮMĚRNÁ DENNÍ SPOTŘEBA VODY .....	93
TAB. 30 KONCENTRACE ZNEČIŠTĚNÍ Z VÝROBY.....	94
TAB. 31 POŽADAVKY VÝROBY NA KVALITU PROCESNÍ VODY .....	95
TAB. 32 ODHAD KONCENTRACE ZNEČIŠTĚNÍ V JEDNOTLIVÝCH STUPNÍCH .....	98
TAB. 33 LIMITNÍ KONCENTRACE VYBRANÝCH UKAZATELŮ PRO RO.....	115
TAB. 34 ODHAD KONCENTRACE ZNEČIŠTĚNÍ NA VSTUPU DO JEDNOTLIVÝCH STUPŇŮ LINKY .....	118
TAB. 35 CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY STAVBY .....	131
TAB. 36 CELKOVÉ NÁKLADY NA ROČNÍ PROVOZ.....	131
TAB. 37 CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY STAVBY .....	132
TAB. 38 CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY NA ROČNÍ PROVOZ.....	132

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

E°	Oxidačně – redukční potenciál
ppm	Parts per milion (označení pro jednu miliontinu celku)
$\lambda$	Vlnová délka [nm]
f	Frekvence [Hz]
Q	Průtok [ $\text{m}^3/\text{den}$ , $\text{m}^3/\text{hod}$ , l/s]
$Q_{dp}$	Průměrný denní průtok [ $\text{m}^3/\text{den}$ ]
$Q_{hmax}$	Maximální hodinový průtok [ $\text{m}^3/\text{hod}$ ]
$Q_k$	Průtok kyslíku [ $\text{m}^3/\text{hod}$ ]
E	Elektrická energie [KWh]
P	Výkon [W]
V	Objem [ $\text{m}^3$ ]
T	Doba [hod]
$q_{sp}$	Specifická spotřeba vody [l/ob./den]
$k_d$	Koeficient denní nerovnoměrnosti [ - ]
h	Hloubka [m]
H	Dopravní výška [m]
D	Průměr [m]
$\nu$	Povrchové hydraulické zatížení [ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hod}$ ]
$\Theta$	Doba zdržení [hod]
$\Theta_x$	Stáří kalu [den]
$\Theta_R$	Doba zdržení s recirkulací [hod]
X	Koncentrace kalu [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]
$B_v$	Objemové zatížení kalu [ $\text{Kg}/\text{m}^3/\text{den}$ ]
$B_x$	Látkové zatížení kalu [ $\text{Kg}/\text{Kg}/\text{den}$ ]
$V_{kal}$	Produkce kalu [kg/den]
$W_s$	Objem kalu v aktivaci [ $\text{m}^3$ ]
R	Recirkulační poměr [%]
KI	Kalový index [mg/l]
$S_f$	Filtrační plocha [ $\text{m}^2$ ]
$V_f$	Filtrační rychlost [m/s]
$V_{max}$	Maximální filtrační rychlost [m/s]
c	Koncentrace [mg/l]
Ko	Celková potřeba ozonu [ $\text{gO}_3/\text{hod}$ ]
J	Průtok přes membránu (flux) [ $\text{l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hod}^{-1}$ ]
A	Filtrační plocha membrán [ $\text{m}^2$ ]
OH·	Hydroxylový radikál
$BSK_5$	Biochemická spotřeba kyslíku (pětidenní)
$CHSK_{Cr}$	Chemická spotřeba kyslíku
NL	Nerozpuštěné látky
AOX	Adsorbable Organically bound Halogens (Halogenované organické sloučeniny)
RAS	Rozpuštěné anorganické soli
TOC	Total organic karbon (celkový organický uhlík)
Pc	Celkový fosfor
N-NO <sub>3</sub>	Dusičnanový dusík
N-NH <sub>4</sub>	Amoniakální dusík



Nc	Celkový dusík
N – anorg.	Anorganický dusík
PAX	Polyaluminiumchlorid
RL	Rozpuštěné látky
°N, °dH	Německý stupeň tvrdosti vody
AOP	Advanced oxidation processes (pokrokové oxidační technologie)
BAT	Best available technology
C.I.	Color index
ČOV	Čistírna odpadních vod
ETAD	Ecological and toxicological association of dyes and organic pigments manufacturers
GDS	Gas dispersion systém (systém vnosu a disperze plynu do vody)
GOX	Gas oxygen (stlačený plynný kyslík)
LOX	Liquid oxygen (hluboce zchlazený zkapalněný kyslík)
MBR	Membránový bioreaktor
OV	Odpadní voda
PLC	Vnitřní řídicí systém generátoru ozonu
PSA	Pressure swing adsorption (tlaková adsorpce)
RO	Reversní osmóza
TP	Textilní průmysl
US	Ultrazvuk
UV	Ultrafialové záření
VSA	Vacuum swing adsorption (vakuová adsorpce)

## SEZNAM PŘÍLOH

### A. Výpočtové přílohy

#### A.1 Hydrotechnické výpočty 1

- A.1.1 Průtoky ČOV a vstupní znečištění
- A.1.2 Mechanické předčištění
- A.1.3 Vyrovnávací a homogenizační nádrž
- A.1.4 Chemické srážení
- A.1.5 Neutralizační nádrž
- A.1.6 Aktivační nádrž
- A.1.7 Dosazovací nádrž
- A.1.8 Kalové hospodářství
- A.1.9 Chemické hospodářství
- A.1.10 Pískové filtry
- A.1.11 Systém ozonizace
- A.1.12 Odželezovací filtry
- A.1.13 Návrh dmychadel
- A.1.14 Čerpací jímka před RO
- A.1.15 Aerace
- A.1.16 Návrh čerpadel
- A.1.17 Odhad účinnosti stupňů čistírenské linky

#### A.2 Hydrotechnické výpočty 2

- A.2.1 Průtoky ČOV a vstupní znečištění
- A.2.2 Mechanické předčištění
- A.2.3 Vyrovnávací a homogenizační nádrž
- A.2.4 Systém ozonizace
- A.2.5 Neutralizační nádrž
- A.2.6 Aktivační nádrž
- A.2.7 Návrh membránových modulů
- A.2.8 Nádrž permeátu
- A.2.9 Kalové hospodářství
- A.2.10 Chemické hospodářství
- A.2.11 Návrh dmychadel
- A.2.12 Aerace
- A.2.13 Návrh čerpadel
- A.2.14 Odhad účinnosti stupňů čistírenské linky

#### A.3 Ekonomické posouzení studie 1

#### A.4 Ekonomické posouzení studie 2

### B. Schematické přílohy

#### B.1 Studie 1

- B.1.1 Technologické schéma ČOV 1
- B.1.2 Podrobná situace ČOV 1

#### B.2 Studie 2

- B.2.1 Technologické schéma ČOV 2
- B.2.2 Podrobná situace ČOV 2

## SUMMARY

This thesis deals with Advanced oxidation processes (AOP) and its application for textile wastewaters treatment and reuse. The first chapters of the text describe the theory of water re-use and advanced oxidation processes which currently receives increased attention due to its high efficiency in removing resistant and hardly-degradable pollution. The search section includes an explanation of the concept of AOP, a description of their functions and the individual elements of the system. Greater attention was paid to the ozonation technology as preparation for the practical part. In practical part this technology is examined in detail and subsequently included in the draft of wastewater treatment plant. Necessary part of the text was the introduction to the basic processes of the textile industry and pollution produced in these processes. The most important was to obtain knowledge about the possibilities and technologies currently used for textile wastewaters treatment. All these findings are summarized in Chapter 4, together with search of experience and knowledge about the use of AOP technology for treating textile dyeing wastewaters. Search part is followed by practical part which consists of two chapters (chapter 5 and 6). Chapter 5 describes briefly the ozonation testing for textile wastewaters decoloration. The textile factory is introduced in the preface of this chapter. The results of the testing are not fully evaluated because it serves only as the input for the ozonation design in the wastewater treatment plant design in chapter 6. The results showed that ozonation (as a separated AOP technology) provides high efficiency in textile effluent decoloration, but it is not effective in removal of other components of textile pollution. The knowledge gained from the search and the testing part were used in the final part of this work to design the treatment of textile wastewater from the dyeing process and the re-use of treated water again in the production. In chapter 6 are presented two options of wastewater treatment plant design with the focus on wastewater reuse. First option designs the conventional treatment plant including mechanical pre-treatment, chemical precipitation, biological treatment and final treatment which is necessary for water reuse in dyeing processes. Final treatment includes sand filtration, ozonation, Fe-removal filters and reverse osmosis technology. Second variant designs the new concept of textile wastewater treatment plant. It consists of mechanical pre-treatment, ozonation (which is integrated as the main treatment technology), biological treatment (which is created by membrane bioreactor) and final treatment. In this concept the final treatment consists only of reverse osmosis system. Both variants were finally compared and evaluated in several parameters (technical, economical and the parameter of effluent quality).